

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



Proyecto fin de carrera

ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRACCIÓN PARA EL iCab2

Ingeniera Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Autor: Francisco Ricote Berrocal

Tutor: Fernando García Fernández

Julio 2011

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA

ÁREA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRACCIÓN PARA EL iCab2

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

Autor: Francisco Ricote Berrocal

Tutor: Fernando García Fernández

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Índice de Contenidos.

| | |
|---|-------------|
| Índice de Contenidos..... | I |
| Índice de Figuras. | V |
| Índice de Tablas..... | VIII |
| | |
| Capítulo 1: Introducción. | 1 |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO. | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.2.1 Mejoras a nivel hardware. | 3 |
| 1.2.2 Mejoras a nivel software. | 4 |
| 1.2.3 Estructura del proyecto. | 4 |
| | |
| Capítulo 2: Estado del arte. | 5 |
| 2.1 SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE. | 5 |
| 2.1.1 Cybercars..... | 5 |
| 2.1.2 ULTra. | 6 |
| 2.1.3 Minnesota Guidestar..... | 6 |
| 2.1.4 Chauffeur..... | 7 |
| 2.1.5 Skyweb Express..... | 8 |
| 2.1.6 RUF. | 8 |
| 2.1.7 MIMICS..... | 9 |
| 2.2 HISTORIA DEL AUTOMÓVIL. | 10 |
| 2.3 LA ENERGÍA DE PROPULSIÓN. | 11 |
| 2.3.1 Para motores de combustión interna..... | 11 |
| 2.3.2 Para motores eléctricos..... | 12 |
| 2.3.3 El Hidrógeno como generador de energía..... | 14 |
| 2.4 SENSORES..... | 17 |
| 2.4.1 Sensores de proximidad. | 17 |
| 2.4.2 Sensores de posición..... | 18 |
| 2.4.3 El RADAR. | 19 |
| 2.4.4 El telémetro LASER. | 19 |
| 2.4.5 El GPS. | 20 |

| | |
|--|----|
| 2.4.6 Imagen..... | 21 |
| 2.4.7 Varios..... | 21 |
| 2.5 MOTORES ELÉCTRICOS..... | 22 |
| 2.5.1 De corriente continúa..... | 22 |
| 2.5.2 De corriente alterna..... | 23 |
| 2.5.3 Otros Motores..... | 24 |
| 2.5.4 Los motores en los vehículos eléctricos..... | 25 |
| 2.6 KERS..... | 26 |
| 2.7 DARPA GRAND/URBAN CHALLENGE - "EL GRAN DESAFÍO"..... | 27 |
| 2.7.1 Las reglas de la plataforma..... | 29 |
| 2.7.2 La normativa en Europa / España..... | 31 |

Capítulo 3: Descripción general de la plataforma iCab.....37

| | |
|---|----|
| 3.1 ESQUEMA GENERAL Y UNIDADES DEL iCab..... | 37 |
| 3.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES..... | 40 |
| 3.2.1 Unidad de Comunicaciones..... | 40 |
| 3.2.2 Unidad de Dirección..... | 41 |
| 3.2.3 Unidad de Tracción..... | 43 |
| 3.3 MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLATAFORMA..... | 43 |
| 3.4 SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS..... | 44 |
| 3.4.1 Unidad de comunicaciones..... | 44 |
| 3.4.2 Unidad de tracción..... | 44 |
| 3.4.2.1 Encoder..... | 44 |
| 3.4.2.2 Freno automático..... | 45 |
| 3.4.3 Unidad de dirección..... | 46 |
| 3.4.3.1 Motorización..... | 46 |
| 3.4.3.2 Joystick..... | 48 |

Capítulo 4: Estudio previo.....49

| | |
|--|----|
| 4.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA ORIGINAL..... | 49 |
| 4.1.1 Datos del fabricante..... | 49 |
| 4.1.1.1 Motor..... | 49 |
| 4.1.1.2 Transmisión..... | 50 |
| 4.1.1.3 Energía..... | 51 |
| 4.1.1.4 Driver del Motor..... | 51 |
| 4.1.1.5 Acelerador..... | 52 |
| 4.1.1.6 Sensor de velocidad..... | 53 |

| | |
|--|----|
| 4.1.1.7 Controles operativos e instrumentación. | 54 |
| 4.1.1.8 Cableado. | 54 |
| 4.1.1.9 Dirección..... | 55 |
| 4.1.1.10 Freno. | 56 |
| 4.2 ANALISIS SOBRE EL CONTROL DE LA TRACCIÓN. | 57 |
| 4.2.1 Estudio del sensor de velocidad..... | 57 |
| 4.2.2 Estudio del driver del motor..... | 57 |
| 4.2.2.1 Módulo de Potencia..... | 60 |
| 4.2.2.1.1 Listado de material del Módulo de Potencia. | 60 |
| 4.2.2.2 Módulo de Control. | 62 |
| 4.2.2.2.1 Listado de material del Módulo de Control..... | 69 |
| 4.2.2.2.2 Listado de pines del microcontrolador. | 70 |
| 4.3 MODIFICACIONES NECESARIAS..... | 72 |

Capítulo 5: Diseño y estudio de la Unidad de Tracción. 75

| | |
|---|-----|
| 5.1 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL..... | 76 |
| 5.2 COMPONENTES..... | 86 |
| 5.3 CONEXIONADO..... | 87 |
| 5.4 CABLEADO. | 88 |
| 5.5 MODIFICACIONES REALIZADAS..... | 93 |
| 5.5.1 Modificaciones realizadas sobre el Driver. | 93 |
| 5.5.2 Modificaciones realizadas sobre el Módulo de Control..... | 93 |
| 5.5.2.1 LAYOUT-TOP..... | 95 |
| 5.5.2.2 LAYOUT-BOTTON. | 95 |
| 5.5.2.3 LAYOUT-COMPONENTES Y VIAS..... | 95 |
| 5.6 PROGRAMACION DEL MICROCONTROLADOR..... | 96 |
| 5.7 OTROS DETALLES. | 99 |
| 5.7.1 Alimentación..... | 99 |
| 5.7.2 Referencias de control y potencia..... | 100 |
| 5.7.3 Comunicaciones..... | 101 |
| 5.7.4 Señales de sensado y control..... | 101 |
| 5.7.5 Estado de las señales | 102 |
| 5.7.6 Seguridades. | 102 |
| 5.7.7 Otros..... | 102 |

Capítulo 6: Experimentación..... 104

| | |
|---|----------------|
| Capítulo 7: Conclusión y trabajos futuros..... | 110 |
| 7.1 CONCLUSIÓN..... | 110 |
| 7.2 TRABAJOS FUTUROS..... | 111 |
| Capítulo 8: Presupuesto..... | 113 |
| 8.1 GASTOS DE PERSONAL..... | 113 |
| 8.2 GASTOS DE MATERIALES..... | 113 |
| 8.3 COSTE TOTAL DEL PROYECTO..... | 114 |
| Bibliografía..... | 115 |

Índice de Figuras.

| | |
|--|----|
| Figura 1.1: Vehículo original EZGO | 1 |
| Figura 1.2: Aplicación de la comunicación entre vehículos V2V. | 2 |
| Figura 1.3: Plataforma iCab. Sensores y comunicaciones. | 3 |
| Figura 2.1: CyberCars. | 5 |
| Figura 2.2: ULTra. | 6 |
| Figura 2.3: Minnesota Guidestar. | 7 |
| Figura 2.4: Chauffeur. | 7 |
| Figura 2.5: Skyweb Express. | 8 |
| Figura 2.6: RUF. | 9 |
| Figura 2.7: MIMICS. | 9 |
| Figura 2.8: Historia de la propulsión del automóvil. | 10 |
| Figura 2.9: Pila de combustible de hidrógeno. | 15 |
| Figura 2.10: Sensores de proximidad y posición. | 18 |
| Figura 2.11: RADAR de ondas milimétricas. | 19 |
| Figura 2.12: GPS. | 20 |
| Figura 2.13: Tratamiento de imagen. | 21 |
| Figura 2.14: Configuraciones de motores de continua. | 23 |
| Figura 2.15: Motores asíncronos. | 24 |
| Figura 2.16: Configuración de los motores en los vehículos híbridos. | 25 |
| Figura 2.17: Disposición de los motores en los vehículos eléctricos. | 26 |
| Figura 2.18: KERS. | 27 |
| Figura 2.19: Vehículos finalistas DARPA Urban Challenge y plano del circuito. | 28 |
| Figura 2.20: Uso de color en las señales. | 33 |
| Figura 3.1: Esquema de bloques del conjunto y localización en la plataforma. | 38 |
| Figura 3.2: Esquema de bloques. | 39 |
| Figura 3.3: Ubicación de las unidades y los tendidos eléctricos del iCab1. | 39 |
| Figura 3.4: Ubicación de las unidades. | 40 |
| Figura 3.5: Esquema de montaje de Unidad de Comunicaciones. | 40 |
| Figura 3.6: Esquema de motor de la dirección. | 41 |
| Figura 3.7: División de la UDIR. | 41 |
| Figura 3.8: Módulo de Control de la UDIR y Subsistemas. | 42 |
| Figura 3.9: Módulo de Potencia de la UDIR y Subsistemas. | 42 |
| Figura 3.10: Modos de funcionamiento de la plataforma. | 43 |
| Figura 3.11: Ubicación de la unidad de comunicaciones. | 44 |
| Figura 3.12: Falta de alineamiento radial, angular y axial. | 45 |
| Figura 3.13: Montaje del encoder de la Unidad de Tracción. | 45 |
| Figura 3.14: Cremallera de dirección, reenvío y cardan. | 46 |
| Figura 3.15: Motorización de la unidad de dirección. | 47 |
| Figura 3.16: Ensamblaje motorización unidad de tracción – cardan. | 47 |
| Figura 3.17: Implantación de la motorización de la unidad de dirección en el vehículo. | 48 |
| Figura 3.18: Reposabrazos y joystick de la unidad de dirección. | 48 |
| Figura 4.1: Vehículo eléctrico EZGO FREEDOM. | 49 |
| Figura 4.2: Motor del Vehículo. | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.3: Transmisión del Vehículo. | 50 |
| Figura 4.4: Energía del Vehículo. | 51 |
| Figura 4.5: Driver del motor del Vehículo. | 52 |
| Figura 4.6: Acelerador del motor del Vehículo. | 53 |
| Figura 4.7: Sensor de velocidad del Vehículo. | 53 |
| Figura 4.8: Controles operativos del Vehículo. | 54 |
| Figura 4.9: Cableado del Vehículo. | 55 |
| Figura 4.10: Dirección del Vehículo. | 56 |
| Figura 4.11: Freno del Vehículo. | 56 |
| Figura 4.12: Driver de control. | 57 |
| Figura 4.13: Driver de control. | 59 |
| Figura 4.14: Módulo de Potencia. | 60 |
| Figura 4.15: Módulo de Potencia. | 61 |
| Figura 4.16: Módulo de Control. | 62 |
| Figura 4.17: Módulo de Control, MC1. | 63 |
| Figura 4.18: Módulo de Control, MC2. | 64 |
| Figura 4.19: Módulo de Control, MC3. | 65 |
| Figura 4.20: Módulo de Control, MC4. | 66 |
| Figura 4.21: Módulo de Control, MC5. | 67 |
| Figura 4.22: Módulo de Control, MC6. | 68 |
| Figura 5.1: Diseño de la Unidad de la Tracción. | 75 |
| Figura 5.2: Esquema de bloques de la Unidad de Tracción. | 76 |
| Figura 5.3: Unidad de Tracción. | 77 |
| Figura 5.4: Unidad de Control de la Unidad de Tracción. | 78 |
| Figura 5.5: Circuito de Alimentación. | 79 |
| Figura 5.6: Circuito del Microcontrolador. | 79 |
| Figura 5.7: Circuito de Aislamiento de las Comunicaciones. | 82 |
| Figura 5.8: Circuito de Programación y Reset. | 82 |
| Figura 5.9: Circuito de Comunicación con la Unidad de Dirección. | 83 |
| Figura 5.10: Circuito de Temporizado de parada. | 83 |
| Figura 5.11: Circuito Conformador de señal de Desplazamiento. | 84 |
| Figura 5.12: Circuito de Supresores de Ruido. | 84 |
| Figura 5.13: Circuito Control de Freno. | 84 |
| Figura 5.14: Circuito de Aviso Luminoso. | 85 |
| Figura 5.15: Distribución física de los circuitos de la Unidad de Tracción. | 85 |
| Figura 5.16: Esquema de conexiónado del Módulo de Control. | 87 |
| Figura 5.17: Esquema del Cableado de UTRC, cableado 1. | 89 |
| Figura 5.18: Esquema del Cableado de UTRC, cableado 2. | 90 |
| Figura 5.19: Esquema del Cableado de UTRC, cableado 3. | 91 |
| Figura 5.20: Esquema de las modificaciones realizadas en el Driver de la UTRC. | 94 |
| Figura 5.21: Modificaciones realizadas sobre el LAYOUT-TOP. | 95 |
| Figura 5.22: Modificaciones realizadas sobre el LAYOUT-BOTTON. | 95 |
| Figura 5.23: Modificaciones realizadas sobre el LAYOUT-COMPONENTES Y VIAS. | 96 |
| Figura 5.24: Circuitos programadores de PIC (Izquierda: Puerto paralelo, Derecha: USB). | 96 |
| Figura 5.25: Entorno del programa MPLAB. | 97 |
| Figura 5.26: MPLAB, Import. | 97 |
| Figura 5.27: MPLAB, MPLAB ICD 2. | 98 |
| Figura 5.28: MPLAB, Verify target device memory. | 98 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.29: MPLAB, Program target device. | 99 |
| Figura 5.30: Detalles del diseño realizados con las referencias de control y potencia..... | 100 |
| Figura 5.31: Detalles del diseño relacionados con las comunicaciones. | 101 |
| Figura 6.1: Comprobador de dirección..... | 105 |
| Figura 6.2: Comprobador del freno. | 105 |
| Figura 6.3: Esquema eléctrico del comprobador de la dirección..... | 106 |
| Figura 6.4: Esquema eléctrico del comprobador de la dirección..... | 107 |
| Figura 6.5: Respuesta en frenado de la UTRC..... | 108 |
| Figura 6.6: Ubicación de los Controles operativos e instrumentación. | 109 |
| Figura 7.1: Detección de Colisión y Proximidad. | 111 |

Índice de Tablas.

| | |
|---|-----|
| Tabla 2.1: Comparativa de distintos tipos de baterías..... | 14 |
| Tabla 2.2: Comparativa de distintos tipos de pilas de combustibles..... | 17 |
| Tabla 2.3: Reflectividad de materiales..... | 20 |
| Tabla 2.4: Plataformas base utilizadas por los finalistas del DARPA Urban Challenge de 2007. | 28 |
| Tabla 2.5: Colores en la señalización de seguridad. | 34 |
| Tabla 4.1: Materiales del Módulo de Potencia..... | 60 |
| Tabla 4.2: Materiales del Módulo de Control..... | 69 |
| Tabla 4.3: Pines del microcontrolador del Driver..... | 70 |
| Tabla 5.1: Descripción de las señales del microcontrolador de la Unidad de Tracción..... | 80 |
| Tabla 5.2: Materiales del Modulo de Control..... | 86 |
| Tabla 5.3: Señales del conector J200..... | 87 |
| Tabla 5.4: Señales del Conector J201..... | 88 |
| Tabla 5.5: Señales del Conector J201..... | 88 |
| Tabla 5.6: Cableado del J200 de la UTRC en detalle..... | 92 |
| Tabla 5.7: Cableado de la Parada de Emergencia en detalle..... | 92 |
| Tabla 5.8: Cableado del interruptor ON/OFF en detalle..... | 93 |
| Tabla 5.9: Cableado del interruptor AUT/MAN en detalle..... | 93 |
| Tabla 8.1: Gastos de personal..... | 113 |
| Tabla 8.2: Gastos de materiales..... | 113 |
| Tabla 8.3: Gastos totales..... | 114 |

Capítulo 1: Introducción.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

En el Laboratorio de Sistemas Inteligentes (LSI) de la Universidad Carlos III de Madrid se está desarrollando un proyecto para implementar un Sistema Inteligente de Transporte (SIT), llamado “iCab” (Intelligent Campus automobile), que sea capaz de moverse de modo autónomo por un entorno estructurado, como puede ser el Campus de Leganés, y/o que sirva de plataforma base para otras aplicaciones, en las que también se está trabajando, para poder controlarlo de forma automática (ordenador) o manual (joystick y pedales).



Figura 1.1: Vehículo original EZGO

El vehículo estará dotado, entre otros, de un posicionador GPS, visión estereoscópica, visión infrarroja y un telémetro láser, que le permitirán ubicarse, planificar, ejecutar rutas y responder activamente al cambio repentino del entorno (obstáculos, peatones, etc.) en condiciones variantes de iluminación. Además de convivir con personas en su entorno, el vehículo será capaz de transportarlas, por lo que es muy importante la seguridad, tanto de los viajeros como de los peatones.

Partiendo de un vehículo eléctrico comercial (marca EZGO), se han realizado los cambios necesarios para automatizar tanto la tracción como la dirección y permitir así su gobierno desde el ordenador encargado de la navegación.

De este modo, el ordenador envía al vehículo las consignas de movimiento, siendo el vehículo el responsable de la ejecución a bajo nivel de estas consignas. También se implementan los medios necesarios para comprobar la integridad del hardware y producir una parada de emergencia en caso de que se detecte un fallo.

Además de poder ser controlado desde un ordenador, ha de permitir la operación manual, con el fin de facilitar la movilidad del vehículo en las tareas de desarrollo, depuración e integración de los distintos sistemas que embarca.

El proyecto iCab surge con la primera plataforma (iCab1) y la evolución, para futuras líneas de investigación, es la creación de la segunda plataforma (iCab2), siendo la misma plataforma para los dos vehículos.

El objetivo principal de los SIT's es conseguir, haciendo uso de las nuevas tecnologías:

- Mejorar la **seguridad** en las diversas situaciones que se presentan en el tráfico, por ejemplo: detectando peatones, o la excesiva proximidad de vehículos u objetos en la trayectoria, avisando sobre falta de atención del conductor, alertando cuando se excede la velocidad permitida o inadecuada según las condiciones atmosféricas o de la carretera, o reduciendo la velocidad del vehículo automáticamente en situaciones comprometidas.
- Aumentar el **confort** del usuario, facilitando pagos en peajes, indicando rutas alternativas en situaciones de congestión de tráfico, permitiendo la navegación a velocidad de crucero.
- Reducción de **consumo**, apagando y arrancando automáticamente el motor en paradas prolongadas, cambiando las marchas automáticamente, realizando un mejor control del gasto energético.

Entre las plataformas iCab se establecerá un sistema de comunicaciones sin cables (wireless):

- Entre vehículos mediante un sistema V2V (Vehicle to Vehicle).
- Con una estación terrestre a través un sistema V2I (Vehicle to Infrastructure).

Los sistemas V2V y V2I tienen como objetivo aumentar la seguridad en la carretera y que los conductores cuenten con información suficiente acerca de lo que ocurre a su alrededor, facilitando su reacción ante cualquier peligro. Se presentan como indicaciones sonoras o luminosas como se puede ver a continuación:

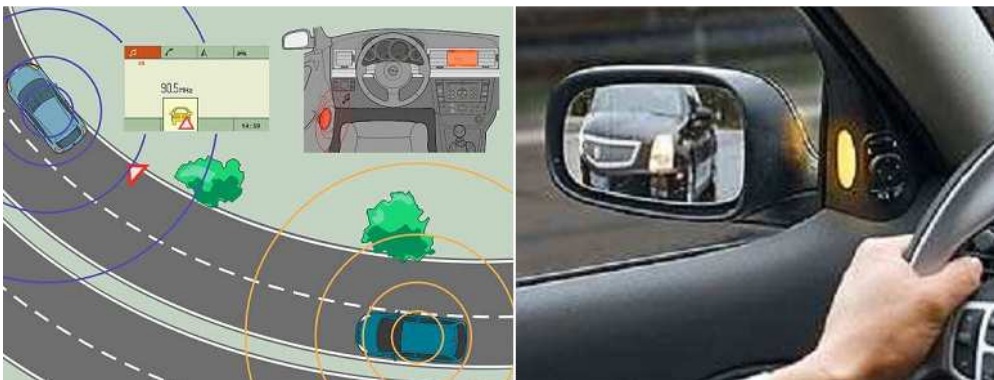


Figura 1.2: Aplicación de la comunicación entre vehículos V2V.

A modo de resumen se pueden observar en la siguiente Figura los sensores de que dispone cualquier plataforma iCab, los sistemas que la forman y su clasificación como sistema de transporte:



Figura 1.3: Plataforma iCab. Sensores y comunicaciones.

1.2 OBJETIVOS.

La electrónica del iCab1 fue diseñada de tal forma que fuera fácil de probar y testear. Para el iCab2 se partirá de muchas de las soluciones empleadas en el iCab1, las cuales se ha comprobando que funcionan, modificándolas y adecuándolas a las peculiaridades del diseño modular propuesto para este proyecto.

En consecuencia los objetivos primordiales para este proyecto son aumentar la fiabilidad del sistema sin menospreciar la seguridad, que se considera crítica por ser una plataforma que transportará personas y la introducción de mejoras tanto a nivel de hardware como de software en la unidad de tracción del vehículo, para ello se plantean las siguientes acciones sobre la Unidad de Tracción:

1.2.1 Mejoras a nivel hardware.

- Mejorar deficiencias en el diseño y subsanar errores.
- Rediseño del hardware partiendo de un diseño funcional y probado.
- Aumentar la funcionalidad.

- Realizar un rediseño fijando la modularidad de los componentes y permitir una fácil sustitución por otros.

1.2.2 Mejoras a nivel software.

- Comunicar a la unidad de dirección la existencia de algún problema en la unidad de tracción.
- Controlar la tracción del vehículo en lazo cerrado conforme a órdenes enviadas desde unidades superiores (modo automático).
- Controlar la tracción del vehículo en lazo abierto a petición del usuario (modo manual).
- Controlar su alimentación de potencia.

1.2.3 Estructura del proyecto.

La información de este documento se encuentra estructurada del siguiente modo:

- **Capítulo 1: Introducción.** Se describe el objeto de este Proyecto Fin de Carrera y su alcance.
- **Capítulo 2: Estado del arte.** Se compone de una serie de apartados en los cuales se presentan algunas características de varios Sistemas Inteligentes de Transporte, las fuentes de energía que actualmente se utilizan, los sensores y motores utilizados. Además se presentan los conceptos básicos del KERS así como las características principales que deben cumplir los vehículos que participan en el DARPA Grand/Urban Challenge.
- **Capítulo 3: Descripción general de la plataforma iCab.** Se describe como se ha planteado el desarrollo del Sistema Inteligente de Transporte en que se trabaja y como dejarlo lo suficientemente abierto para que permita mejoras sucesivas. Se presenta el vehículo origen y el planteamiento de su desarrollo para utilizarlo en el Sistema.
- **Capítulo 4: Estudio previo.** Se estudia el vehículo original y la situación previa del proyecto antes de abordar el vehículo.
- **Capítulo 5: Diseño y estudio de la unidad de tracción.** Se describe como se ha realizado el desarrollo, su ubicación, interconexión y la descripción de cada una de ellas así como los detalles de interés de su diseño.
- **Capítulo 6: Experimentación.** El hardware por sí mismo no tiene un funcionamiento propio, sino que es el software quién lo controla. Por este motivo las pruebas que se describen únicamente comprueban que el funcionamiento se corresponde con lo que se espera, para ello se fabricaron comprobadores “sencillos” que permitieron realizar estas pruebas.
- **Capítulo 7: Conclusiones y trabajos futuros.** Se presentan las conclusiones alcanzadas y distintas propuestas de evolución y mejora del desarrollo realizado.
- **Capítulo 8: Presupuesto.** Se presentan los costes del presupuesto.

Capítulo 2: Estado del arte.

2.1 SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE.

Dentro del grupo de Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) se van a mencionar algunos de los SIT's más conocidos de forma esquemática detallando brevemente los siguientes puntos:

- Plataforma
- Comportamiento
- Sensores
- Redes
- Otros datos de interés

2.1.1 Cybercars.

El consorcio europeo INRIA ha desarrollado el proyecto Cybercars, dirigido al transporte de personas (CyberCars, 2009) (Ver Figura2.1).

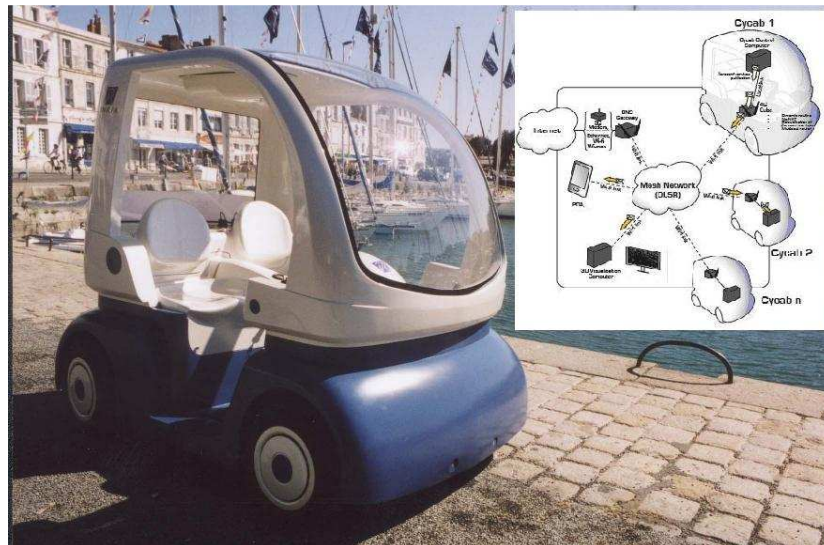


Figura 2.1: CyberCars.

- **Plataforma.** Es el primer desarrollo a nivel mundial de SIT basado en automóviles eléctricos.
- **Comportamiento.** Su desarrollo se basa en un comportamiento autónomo capaz de calcular rutas de modo On-Line.
- **Sensores.** Inicialmente se comenzó utilizando balizas inductivas y Laser (Ollivier y Parent, 2002), con posterioridad se trabaja en la visión estereoscópica 3D, (Royer, Dhorme, y Lhullier, 2002) (Simond, 2007), Laser, sensores ultrasónicos, GPS y DGPS.

- **Redes.** El desarrollo contempla que pueda existir una red principal que comunique con todos los vehículos y que además puedan comunicarse entre ellos para compartir información.
- **Otros datos de interés.** Dispone de simulador (Mehani y Benenson, 2007) (Bouraoui y Petti, 2008) (Boisse y Beneneson, 2007).

2.1.2 ULTra.

Desarrollado por la Universidad de Bristol y la empresa ATS (Ultra, 2009).



Figura 2.2: ULTra.

- **Plataforma.** La propulsión se realiza con motor eléctrico y ruedas de goma que aminoran el ruido de rodadura.
- **Comportamiento.** Su comportamiento está basado en el cálculo de rutas en modo Off-Line, antes de comenzar el desplazamiento.
- **Sensores.** El sistema está basado en el guiado por carril y balizas inductivas.
- **Redes.** Una estación central establece la ruta y se la envía al vehículo para que la siga.
- **Otros datos de interés.** Esta implementado en el aeropuerto de Londres [Heathrow] y Cardiff.

2.1.3 Minnesota Guidestar.

Se trata de un programa estatal desarrollado por la Universidad de Minnesota (Guidestar, 2009)



Figura 2.3: Minnesota Guidestar.

- **Plataforma.** Las pruebas se realizan en vehículos de motor térmico.
- **Comportamiento.** Se trata de un sistema que conoce la ruta a seguir y ayuda al conductor.
- **Sensores.** Entre otros dispone de balizas inductivas y detectores de colisión.
- **Redes.** Dispone de una red central que comunica con todos los vehículos y una red en cada vehículo para comunicarse con los que se encuentren próximos.
- **Otros datos de interés.** El concepto novedoso es que la información está en la carretera, además puede comunicarse con otros sistemas como por ejemplo el pago de peajes.

2.1.4 Chauffeur.

Es un desarrollo en el que están participando entre otros DaimlerChrysler AG (Alemania), Centro Ricerche Fiat S.C.p.A. (Italia), IVECO (Italia) o Robert Bosch GmbH (Alemania) [CORDIS, 2009].



Figura 2.4: Chauffeur.

- **Plataforma.** Se han realizado pruebas con dos vehículos de motor térmico (camiones).
- **Comportamiento.** Una persona conduce el primer vehículo del Convoy (vehículo guía) y el resto le sigue.
- **Sensores.** Está basado en sistemas de visión y radar.

- **Redes.** No utiliza comunicaciones.
- **Otros datos de interés.** Está diseñado para guiar un convoy con un único conductor, no en vano la traducción de chauffeur es conductor.

2.1.5 Skyweb Express.

Creado por la compañía Taxi 2000. El diseño del vehículo se realizó para un único usuario [Taxi2000, 2009].



Figura 2.5: Skyweb Express.

- **Plataforma.** Vehículo eléctrico monorraíl.
- **Comportamiento.** Se trata de un comportamiento programado. Se calcula el camino en modo Off-Line antes de comenzar el desplazamiento.
- **Sensores.** Los principales sensores están integrados en el raíl.
- **Redes.** Dispone de una red central que comunica con todos los vehículos. También existe comunicación entre vehículos que se encuentren próximos.
- **Otros datos de interés.** Dispone de un simulador Trackedit que permite el cálculo de rutas, dimensionado de la red, consumos, etc. Otro sistema similar fue SporTaxi (Suecia) que se intentó instalar en un aeropuerto cercano a Oslo.

2.1.6 RUF.

El concepto de RUF (Rapid Urban Flexible) fue inventado y desarrollado por Palle Jensen en Dinamarca.



Figura 2.6: RUF.

- **Plataforma.** Son vehículos con motor eléctrico y pequeñas baterías, que se cargan mientras transitan por el raíl, también pueden ser vehículos híbridos.
- **Comportamiento.** Dispone de dos modos de funcionamiento, circulando por carreteras convencionales y guiado por carril.
- **Sensores.** Comunicación en el carril.
- **Redes.** Dispone de una red central que comunica con todos los vehículos.
- **Otros datos de interés.** Dispone de simulador y diseños para ser utilizados en sistemas de monorraíl elevados.

2.1.7 MIMICS.

Ideado por la Universidad de Murcia en colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia y el Ministerio de Fomento [Úbeda y Martínez, 2001].



Figura 2.7: MIMICS.

- **Plataforma.** Pruebas realizadas en un vehículo de motor térmico.
- **Comportamiento.** Control inteligente y apoyo a la conducción.
- **Sensores.** Utiliza el GPS EGNOS y Radar frontal. Evita obstáculos.
- **Redes.** En cada vehículo para comunicarse entre ellos.
- **Otros datos de interés.** Esta pensado principalmente para uso en convoy.

2.2 HISTORIA DEL AUTOMÓVIL.

“Los primeros pasos del automóvil se dieron con propulsores de vapor”, tal vez esta sea una de las frases que más se pueda haber escuchado cuando se habla de automóviles, sin embargo en 1472 se publicaba en Verona un libro “De Re Militari” en el que su autor Roberto Valturio, mostraba el esquema de un aparato capaz de moverse propulsado, únicamente, por la fuerza del viento. Años más tarde Leonardo Da Vinci realizaba el “*Studio per carro automotore*” donde un par de personas eran capaces de desplazarse unos metros, en un vehículo de cuatro ruedas con dirección y un sistema de muelles. Alrededor de doscientos años más tarde Isaac Newton esbozo el diseño de algo parecido a un vehículo de cuatro ruedas con una caldera central de la que salía un chorro de vapor. Sin embargo, hasta aquí son casi comentarios anecdóticos, pues repasando la historia del automóvil, una gran cantidad de autores consideran que el primer vehículo fue creado por Nicholas-Joseph Cugnot en 1769. Se trataba de un triciclo con ruedas de madera, llantas de hierro y pesaba alrededor de cuatro con cinco (4.5) toneladas. Era propulsado a vapor (Condori, 2009).

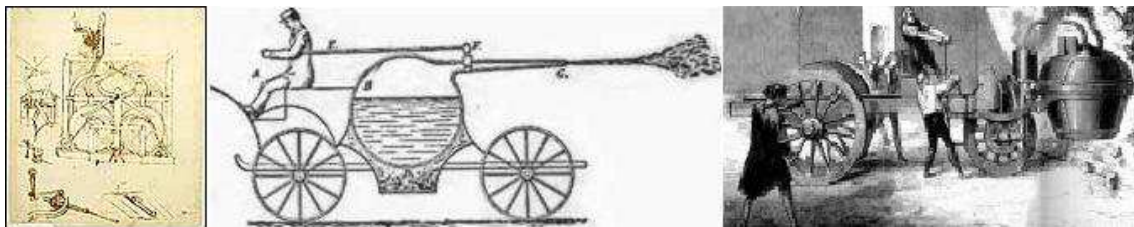


Figura 2.8: Historia de la propulsión del automóvil.

La aparición del vehículo propulsado por un motor eléctrico hay que buscarlo casi un siglo después e incluso antes de la aparición del motor de cuatro tiempos de Rudolf Diesel y Karl Benz (motores diesel y gasolina). En la década de 1830, un escocés, Robert Anderson, inventó el primer vehículo eléctrico puro.

2.3 LA ENERGÍA DE PROPULSIÓN.

2.3.1 Para motores de combustión interna.

Es conocido el principio de funcionamiento de los motores de combustión interna ya sea de pistones o rotativo (también conocido por Wankel, nombre del ingeniero alemán que lo inventó), pero dejando aparte la gasolina y el gasóleo, no son tan conocidos otros combustibles que utilizan estos motores para tratar de lograr un mejor rendimiento o cumplir con las actuales normativas de baja emisividad entre otros se pueden mencionar (IDEA, 2009):

- **Gas Licuado del Petróleo.**
 - La composición es mezcla de Propano (C_3H_8) y Butano (C_4H_{10}) y la proporción volumétrica depende del país (en España es de 30-70).
 - El almacenamiento es en estado líquido (10 bares) y la combustión en estado gaseoso.
 - Los depósitos son de fácil instalación (algunos en forma de “donuts” para ubicar en lugar de la rueda de repuesto) y con capacidades entre 40 y 80 litros.
 - Los motores de gasolina son de fácil transformación, pero no los diesel pues necesita bujías.
 - La normativa de seguridad es bastante estricta (depósitos que soporten impactos, distancia a los escapes, válvulas de seguridad, etc.).
 - La contaminación generada es inferior a los motores de gasolina o diesel.
- **Gas natural.**
 - La composición es principalmente de Metano (CH_4). La proporción está entre el 83% y el 98% de Metano y el resto de Etano, Propano y Butano.
 - Se puede encontrar Gas Natural a Alta Presión a 200 bares y Gas Natural Licuado a $-160^{\circ}C$.
 - La tecnología puede ser para motores monocombustible o biocombustible y dentro de este último se diferencia para gasolina o diesel.
 - Aunque el Metano es un gas con un importante efecto invernadero, el tratamiento que se realiza en la salida de gases de los motores consigue que todo el Metano se queme produciendo una contaminación inferior a los motores de gasolina y diesel.
- **Biocombustibles (Biodiesel, Bioetanol y BioGas).**
 - Son aquellos generados a partir de la Biomasa y por tanto se consideran energía renovable.
 - Contribuyen a la reducción de gases de efecto invernadero.

- Se divide en dos (2) grandes grupos dependiendo en qué tipo de motor se utilice: el Biodiesel (para motores diesel) y el Bioetanol (para motores de gasolina).
 - **Biodiesel.**

Procedencia: Se obtiene a partir de semillas oleaginosas (principalmente colza, girasol, palma o soja) o aceites reciclados.

Mezcla: Algunos motores funcionan con Biodiesel puro y otros con una mezcla de Biodiesel y Gasóleo (5-30% de Biodiesel, generalmente con el 5% conforme a norma EN590; puede ocasionar problemas con juntas de caucho, inyectores y filtros).

Coste: En el año 2005 los estudios consideraban el precio como muy interesante, pero el efecto que produjo fue que disparó del precio de los cereales.

Medioambiente: La emisión de CO₂ disminuye en un 40% para Biodiesel puro y entre un 2 y 2,5% para las mezclas del 5%.
 - **Bioetanol.**

Procedencia: Caña de azúcar y maíz (Brasil y EEUU) y remolacha y trigo (Europa).

Mezcla: Algunos motores funcionan con Bioetanol puro y otros con una mezcla de Bioetanol y gasolina (5% de Bioetanol conforme a norma EN228; mezclas mayores del 5% requieren modificaciones importantes en los motores).

Manipulación: Delicada sin llegar al caso de la Indy Racing League que utiliza etanol.

Coste: Su producción es más cara que la gasolina pero tiene ventajas fiscales.

Medioambiente: La emisión de CO₂ disminuye en un 100% para Bioetanol puro y entre un 2 y 2,5% para las mezclas del 5%.

2.3.2 Para motores eléctricos.

Cuando se habla de vehículos eléctricos, se suelen agrupar principalmente en dos (2), los totalmente eléctricos y los híbridos. Los primeros se subdividen a su vez en dos (2) clases, los alimentados por batería y los que aprovechan la energía solar.

Tal y como se ha comentado anteriormente, el primer vehículo eléctrico data del siglo XIX, pero es a finales del siglo pasado (en las décadas de los 80 y 90), cuando muchos y reconocidos fabricantes de vehículos comienzan a presentar desarrollos de sus vehículos basados en sistemas eléctricos (IDEA, 2009).

Dado que el presente desarrollo se realiza sobre un vehículo alimentado exclusivamente por baterías, la información que se expone a continuación se refiere únicamente a este tipo de vehículos.

En estos vehículos eléctricos (EV) la energía se almacena en baterías que cumplen la misma misión que los depósitos de combustible en los vehículos con motor térmico (tratamiento especial tienen los vehículos que utilizan células de combustión de hidrógeno).

La batería ideal debería cumplir con los siguientes requisitos (COMPETENCE, 2009) (VARTA, 2009):

- **Energía específica** (Wh/Kg): Ligera y con mucha cantidad de energía almacenada.
- **Densidad de energía** (Wh/m³): Tamaño reducido y con mucha cantidad de energía almacenada.
- **Potencia específica** (W/Kg): Potencia de salida elevada con respecto a su masa.
- **Ciclo de vida prolongado**: Permitir muchas recargas sin deterioro significativo del rendimiento (relación entre la energía de carga y la de su descarga).
- **Carga**: Segura, sencilla y de tiempo reducido.
- **Reciclado**: Los materiales que la componen no deben ser contaminantes.
- **Precio**: Reducido.

Existen distintos tipos de batería, las cuales presentan diferentes características y su evolución ha logrado mejorar su rendimiento de forma notable pero normalmente a cambio de perder en algunas de sus características. Se pueden mencionar entre otras las siguientes:

- **Plomo-Ácido**. Se utilizan hace mucho tiempo, son económicas, robustas y de fácil reciclado. A cambio su energía y densidad específica son bajas y su autonomía es limitada.
- **Niquel-Cadmio**. También se utilizan desde hace años. Tienen una energía y densidad específica mayores que las de Plomo-ácido. Su reciclado es complicado ya que el Cadmio es un metal contaminante.
- **Niquel-Metal-Hidruro**. Tienen mayor energía específica que las de Niquel-Cadmio y sus ciclos de vida útil son elevados. Son de tamaño reducido y de reciclado más sencillo que las de Cadmio.
- **Litio**. Los desarrollos de las baterías basadas en Litio comenzaron en la segunda década del siglo XX, aunque no fue hasta la década de los 70 cuando comenzaron a comercializarse. Tanto las baterías de Ión-Litio como las de Litio-Polímero tienen una elevada energía específica, ciclos de vida útil muy largos pero no son muy económicas y necesitan vigilar su temperatura y su tensión mínima y máxima. Si se excede ésta última se pueden producir deflagraciones importantes y su mala conservación puede provocar su explosión.

- **Zinc-Aire, Zebra Sodio-Níquel-Cloro y Zebra Sodio-Hierro-Cloro.** Una de las baterías que más prometen son las de sodio-cloruro de nitrato conocidas también por baterías ZEBRA. Estas baterías, que trabajan a altas temperaturas, se consideran idóneas para autobuses que circulen por líneas regulares. El zinc puede competir en el futuro con las pilas de combustible de hidrógeno. Algunos expertos lo califican como el combustible eléctrico del futuro. Entre sus principales ventajas destaca su facilidad de carga y su alto potencial energético. A diferencia de otros tipo de baterías estas necesitan que el vehículo vaya equipado con un sistema de filtrado e inyección de aire y de un sistema de monitoreo a bordo. Las baterías zinc-aire son del tipo primarias, o sea, que una vez agotada la carga no pueden recargarse sino que hay que extraer el zinc y cargarlo fuera de la batería. Sin embargo, la carga del zinc es fácil y rápida. Este tipo de batería puede proporcionar una duración tres (3) veces mayor que las de plomo-ácido. Las pilas a base de zinc tienen como principal ventaja la posibilidad de ser recicladas sin límite, sin perder ni sus cualidades químicas, ni sus cualidades físicas. A pesar que el zinc representa una fuente de energía limpia y duradera para el futuro, se desconoce el impacto que podría tener su uso masivo sobre el medio ambiente.

En la Tabla 2.1 se muestra una comparativa de distintos tipos de batería.

| | Pb/ac | Ni/Cd | NiHM | Li/Ion | Li/Po | Na/NiCl ₂ |
|---|-------|-------|-------|--------|-------|----------------------|
| Energía Específica (Wh/Kg) | 35/40 | 55 | 70/90 | 125 | 155 | 80 |
| Potencia Específica (W/Kg) | 80 | 120 | 200 | 260 | 315 | 145 |
| Densidad de Energía (Wh/m ³) | 0 | 90 | 90 | 200 | 165 | 130 |
| Ciclos de Vida Útil (nº de ciclos de carga) | 300 | 1000 | 600 | +600 | +600 | 600 |
| Tiempo de Carga (horas) | 6/8 | 6/8 | 6 | 4/6 | 4/6 | 4/6 |
| Coste (Euros/KWh) | 100 | 400 | 550 | - | - | - |

Tabla 2.1: Comparativa de distintos tipos de baterías.

2.3.3 El Hidrógeno como generador de energía.

El hidrógeno se considera un caso especial ya que junto con el oxígeno, puede ser utilizado en motores de combustión interna, como combustible, y en motores eléctricos como pilas de combustible. En el primer caso generando energía mecánica, en el segundo energía eléctrica y ambos casos emitiendo a la atmósfera únicamente vapor de agua. Consecuencia de esto último, y de un modo muy extendido, generalmente se piensa que es el combustible del futuro, pero se debe al desconocimiento del modo en que se genera ya que es ahí donde surgen los

problemas. Actualmente el hidrógeno sólo se considera ecológico cuando se obtiene de la electrólisis del agua con fuentes de energía renovables (IDEA, 2009).

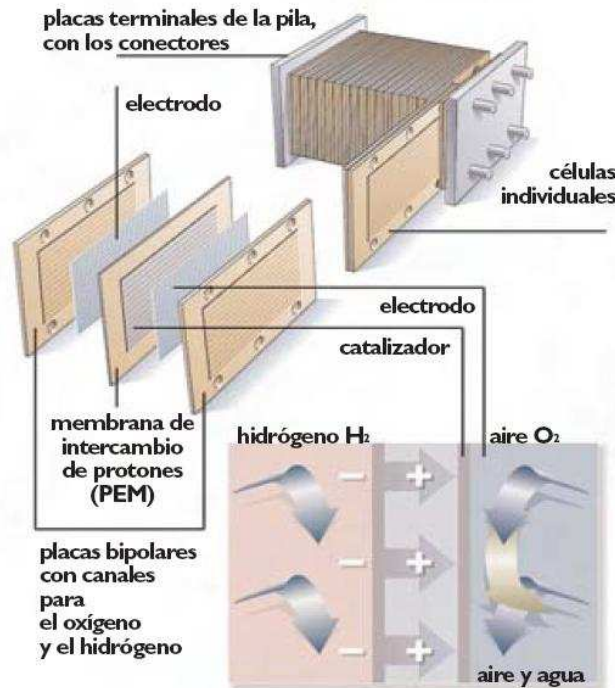


Figura 2.9: Pila de combustible de hidrógeno.

Existen distintos tipos de pilas de combustión (APPICE, 2009):

- **AFC (Alkaline Fuel Cell, Pila de combustible alcalina):** El electrolito es hidróxido de potasio concentrado al 35 - 50% para temperaturas de operación inferiores a 120°C, pudiendo operar a 250°C cuando la concentración es del 85%. El electrolito es líquido y necesita una matriz que lo retenga. Los electrodos contienen altos contenidos en metales nobles, ánodos de platino/paladio y cátodos de oro/platino, pudiendo utilizar un amplio rango de electrocatalizadores, como níquel, plata, óxidos metálicos y espinelas. La tecnología de estas celdas está muy desarrollada y ha sido ya utilizada en dispositivos espaciales.
- **PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, Pila de combustible con membrana de intercambio protónico):** También conocidas como PEFC (Polymer Electrolyte Fuel Cells, Pila de combustión de electrolito polímero o membrana polimérica). Utilizan como electrolito una membrana polimérica que debe mantenerse completamente hidratada durante la operación para favorecer la conducción de los protones. Este requerimiento limita la temperatura de operación por debajo de 100°C y es crítico para obtener una buena eficiencia. Al ser agua el único líquido que se utiliza, los problemas de corrosión son mínimos. El catalizador comúnmente utilizado es platino soportado sobre carbón. Son capaces de trabajar con altas densidades de corriente, con una rápida respuesta a demandas de potencia variable, lo que las hace muy adecuadas para su aplicación en transporte.

- **PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell, Pila de combustible de ácido fosfórico):** Utilizan ácido fosfórico concentrado como electrolito, con una temperatura de operación de 150 a 200°C. Los electrodos son de platino soportado sobre carbón, con una alta sensibilidad al envenenamiento por CO. Aparte de la celda alcalina, este tipo de celdas son las que tienen un mayor nivel de desarrollo tecnológico, con una amplia utilización en aplicaciones estacionarias en fase de demostración.
- **MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell, Pila de combustible de carbonatos fundidos):** Utilizan como electrolito una sal fundida de carbonatos alcalinos (Li, Na, K), con una temperatura de operación superior a 650°C, mejorando sus prestaciones cuando se trabaja a presión. Los materiales utilizados comúnmente como electrodos son níquel dopado con cromo o aluminio para el ánodo, y óxido de níquel litiado para el cátodo, estando en desarrollo otros materiales más resistentes a la corrosión. Utilizadas en aplicaciones estacionarias con aprovechamiento del calor residual generado, estando muy avanzado su desarrollo.
- **SOFC (Solid Oxide Fuel Cell, Pila de combustible de óxidos sólidos):** El electrolito usado en estas celdas es un óxido metálico no poroso que sea buen conductor iónico, normalmente óxido de zirconio estabilizado con óxido de ytrio, con una temperatura de funcionamiento entre 900 y 1000°C. Normalmente, el ánodo es una mezcla de cerámico y metal, NiZrO₂, y el cátodo, una manganita de lantano dopada con estroncio o selenio. Debido a su alta temperatura de trabajo, al igual que ocurre en las MCFC, pueden utilizar el calor residual que generan en el proceso de reformado del combustible. La posibilidad de trabajar a mayor densidad de corriente y sin problemas de corrosión, frente a las MCFC, las convierten en una alternativa interesante y como la más prometedora en pilas de combustible de alta temperatura. El reto actual está en disminuir la temperatura de operación en el rango de 600 a 800°C. (IT-SOFC, "Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell"). Se está focalizando la investigación en disminuir el espesor de la capa de electrolito y en la búsqueda de nuevos materiales, basados en óxidos lantánidos o con estructura perovskita, que presenten alta conductividad iónica a baja temperatura.

En la Tabla 2.2 se muestra una comparativa de distintos tipos pilas de combustible.

| | FAC | PEMFC | PAFC | MCFC | SOFC |
|---|------------------|--|--------------------------------|---|---|
| Electrolito | KOH | Membrana intercambio protónico (Nafion®) | H ₃ PO ₄ | Li ₂ CO ₃ K ₂ CO ₃ | ZrO ₂ Y ₂ O ₃ |
| Ánodo | Ni Raney | Pt/C | Pt/C | Ni | Ni-ZrO ₂ |
| Cátodo | Ag | Pt/C | Pt/C | NiO | LaMnO ₃ /Sr |
| Temperatura (°C) | 65 - 220 | 80 | 205 | 650 | 600 - 1.000 |
| Tiempo de encendido (horas) | < 0,1 | < 0,1 | 1 - 4 | 5 - 10 | - |
| Densidad de Potencia (mW/cm²) | 620 | 420 | 250 (8 atm) | >150 | 120 |
| Eficiencia (%PCS) | > 50 | 32 - 45 | 36 - 45 | 43 - 55 | 43 - 55 |
| Combustible | | | | | |
| H ₂ | Combustible | Combustible | Combustible | Combustible | Combustible |
| CO | Veneno | Veneno (<50 ppm) | Veneno (<0,5 %) | Combustible | Combustible |
| CH ₄ | Diluyente | Diluyente | Diluyente | Combustible | Combustible |
| S (H ₂ S y COS) | Veneno | Veneno | Veneno (<50 ppm) | Veneno (<50 ppm) | Veneno (<1 ppm) |
| Rango de potencia (KW) | 5 - 150 | 5 - 250 | 50 - 11.000 | 100 - 2.000 | 100 - 250 |
| Aplicaciones | Sistemas móviles | | Sistemas estacionarios | | |

Tabla 2.2: Comparativa de distintos tipos de pilas de combustibles.

2.4 sensores.

La plataforma debe estar dotada de una serie de sensores que permitan realizar su control y guiado, así por ejemplo, se podrá controlar su velocidad, ángulo de giro de la dirección, topes, etc. Por otro lado, en el exterior de la misma, es necesaria la detección de personas y objetos con los que, en principio, no debe colisionar.

En este punto no se pretende exponer el funcionamiento de los sensores, sino presentar algunos de los más utilizados en la industria del automóvil, la agrupación de los mismos se realizará dependiendo de su aplicación principal sin que esto quiera decir que no puedan ser utilizados en otras aplicaciones.

2.4.1 Sensores de proximidad.

Estos sensores son coloquialmente conocidos como “finales de carrera”, ofrecen una respuesta lógica de su posición. En este tipo de sensores se identifican, normalmente, en función de su principio de funcionamiento:

- **Electro-mecánicos.** Cambia de estado por algún efecto mecánico.
- **Inductivos.** Cambia de estado por efecto de un campo magnético. Entre los más conocidos se pueden mencionar los Relé Reed o sensor de Efecto Hall.
- **Fotodetector.** Cambia de estado cuando deja de estar “iluminado”. Dentro de estos detectores se identifican dos grupos: de espectro visible y de espectro infrarrojo (IR).
- **Óptico.** Habitualmente están basados en emisión-recepción de IR.
- **Ultrasónico.** Al igual que los ópticos están basados en la emisión-recepción y su frecuencia de trabajo está por encima de los cuarenta (40) KHz.

2.4.2 Sensores de posición.

Estos sensores ofrecen una señal proporcional a la medida realizada. En este tipo de sensores se identifican normalmente en función de la medida que realizan: Linear o angular. A su vez pueden agruparse en analógicos (lazo de corriente y/o tensión proporcional) y digitales (pulsos y/o valor digital).

- **Lineales.**
 - Potenciómetros (magneto resistiva).
 - Capacitivos. En este tipo de aplicación suelen actuar sobre el dieléctrico.
 - LVDT (Linear Variable Differential Transformer).
 - Reglas ópticas.
 - Sonar. Su rango de funcionamiento está entre veinte (20) Hz y treinta (30) KHz.
 - Ultrasonido. Dependiendo del dispositivo utilizado pueden detectarse objetos en unos cien (100) grados en el plano horizontal y unos sesenta (60) en el vertical.
- **Angulares.**
 - Potenciómetros (magneto resistiva).
 - Capacitivos. En este tipo de aplicación suelen actuar sobre la relación de superficie entre las armaduras.
 - RVDT (Rotary Variable Differential Transformer).
 - Encoder. Se pueden encontrar de dos (2) tipos: incrementales y absolutos.



Figura 2.10: Sensores de proximidad y posición.

2.4.3 EL RADAR.

Es un acrónimo que indica su utilización RADio Detection And Ranging (detección y medida de distancia por radio). El principio de funcionamiento se basa en la reflexión de las ondas electromagnéticas en los cuerpos y fue descubierto en 1904. Así se trata de hacer una emisión y contar el tiempo en que tarda en recibirse el “eco” de la señal emitida. Dependiendo de la aplicación donde se necesite, se utilizan distintas frecuencias para lograr distintos alcances y resoluciones. Las frecuencias cubren aproximadamente desde los tres (3) MHz hasta los cien (100) GHz. Los dos (2) grandes “problemas” que deben tratarse en el uso de este dispositivo son el “clutter” que son los “ecos” no deseados y el “jammnig” que es la recepción de señales de la misma frecuencia de emisión.

En aplicaciones de SIT’s se recomienda el uso un radar en las bandas de (A.C.A., 2001) (E.T.S.I., 2001):

- Setenta y seis (76) a setenta y siete (77) GHz con un rango de uno (1) a ciento cincuenta (150) metros para el ACC (Autonomous Cruise Control).
- Veinticuatro (24) GHz con un rango de diez (10) metros pudiendo realizar medidas a una velocidad de doscientos (200) kilómetros por hora para el CWS (Collision Warning System) y ACS (Anti-Collision System).



Figura 2.11: RADAR de ondas milimétricas.

2.4.4 El telémetro LASER.

La RAE define telémetro como un “sistema óptico que permite apreciar desde el punto de mira la distancia a que se halla un objeto lejano”, el telémetro LASER no tiene el mismo principio de funcionamiento sino que está basado en la medida del “tiempo de vuelo”, por lo que se parece mucho más a un RADAR, es por este motivo que se le conoce como LADAR (RADAR LASER) o también como LIDAR (Light Detection And Ranking, detección y medida de distancia por luz) (RAE, 2009) (Buffalo, 2009).

Al tratarse de un equipo basado en LASER, la detección de los objetos depende de la reflexión de este en los mismos y es por esto que cuanto mayor sea, mejor los

detectará. En la Tabla 2.3 se muestra la reflectividad de algunos materiales (SICK, 2009).

| Material | Reflectividad (%) |
|----------------------|-------------------|
| Cartulina mate negra | 10 |
| Cartulina mate gris | 20 |
| Madera | 40 |
| PVC Gris | 50 |
| Papel mate blanco | 80 |
| Aluminio | 110 – 150 |
| Acero oxidado | 120 – 150 |
| Acero pulido | 140 – 200 |
| Reflectante | > 2.000 |

Tabla 2.3: Reflectividad de materiales.

Esta tecnología se utiliza ya en muchos SIT's como sistemas de medida por LASER y pueden realizar barridos de distintos rangos con distinta resolución y alcance.

2.4.5 El GPS.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se comienza a desarrollar en plena guerra fría por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, pero es en la década de los noventa cuando comienza a dar servicio. Estaba basado en veintiún (21) satélites operativos y tres (3) de reserva. Aunque estaba desarrollado para aplicaciones militares, además daba servicio a aplicaciones civiles, pero generando un error aleatorio que podía llegar hasta ciento cincuenta (150) metros. A esto se le denominaba “disponibilidad selectiva”. En la actualidad este error no se genera y se logran precisiones que se aproximan al centímetro.

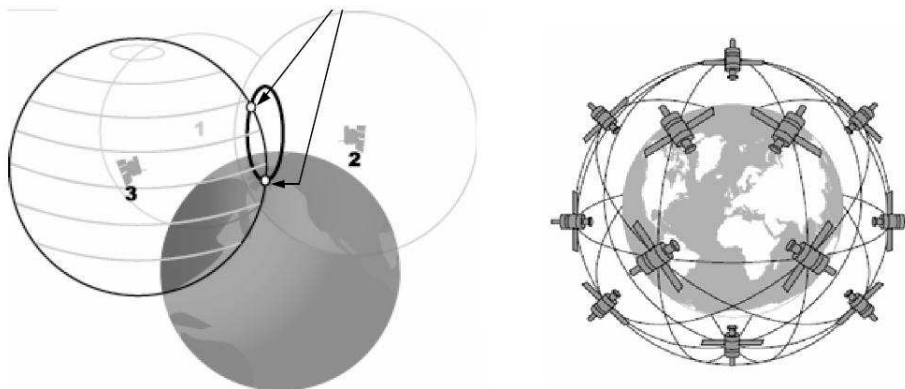


Figura 2.12: GPS.

Este dispositivo se utiliza principalmente en recintos abiertos ya que la cobertura en entornos urbanos con grandes edificaciones (urban canyon) y lugares cerrados, queda muy limitada.

Suele acompañarse de otros sensores, como acelerómetros o girómetros, que complementan su funcionamiento (GPS, 2009).

2.4.6 Imagen.

En este apartado el grupo de investigación del LSI durante los últimos años ha hecho un enorme esfuerzo en la detección de peatones, ya sea mediante cámaras en blanco y negro, como con sistemas de infrarrojos utilizando la banda de ocho (8) a doce (12). La experiencia adquirida podrá servir como base a sistemas de detección y seguimiento de peatones para el nuevo desarrollo que se ha iniciado con este proyecto (LSI-SIT, 2009). Otros grupos de desarrollo, como VISLAB en Italia (VISLAB, 2009) han desarrollado aplicaciones basadas en visión artificial para la detección de objetos y peatones.

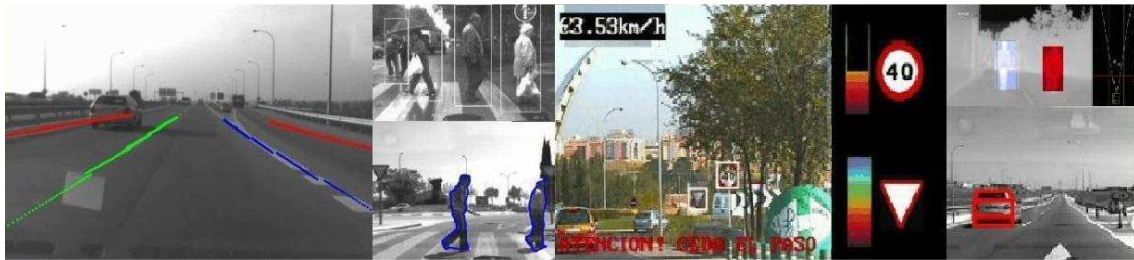


Figura 2.13: Tratamiento de imagen.

Otro modo de utilizar estos sensores es para el cálculo de distancias, pudiéndose mencionar su uso con un sistema estereoscópico o con la combinación de imagen con puntero LASER con “safe-eyes” como los más comúnmente utilizados.

2.4.7 Varios.

Es evidente que se pueden encontrar otros sensores que pueden utilizarse en aplicaciones relacionadas con el mundo del automóvil, entre ellos se pueden mencionar:

- **De temperatura.** Temperatura de líquidos, en los sistemas de climatización, etc.
- **De presión.** Pueden encontrarse a menudo en el sensado de presión de los neumáticos.
- **Acelerómetros.** En los sistemas de activos de protección de ocupantes como pueden ser los “airbag”, se utilizan para detectar un posible golpe.
- **Giróscopos.** Estos se utilizan principalmente en sistemas de navegación en combinación con el GPS. Pueden encontrarse combinados con magnetómetros permitiendo detectar la aproximación de objetos que modifican el campo terrestre.

2.5 MOTORES ELÉCTRICOS.

Atendiendo a la forma de alimentación de los motores, se pueden clasificar en dos (2) grandes grupos: motores de corriente continua y motores de corriente alterna (GITEL, 2009) (Oviedo, 2009) (Valencia, 2009). Históricamente los motores de corriente continua han sido ampliamente empleados en aplicaciones que requieren regulación de velocidad realizándose su control de modo relativamente sencillo por medio de dispositivos eléctricos y electromecánicos. La regulación de los motores de corriente alterna es más compleja y difícilmente se puede acometer con estos mecanismos, por lo que se recurre a cajas de reductoras mecánicas.

Los avances de los semiconductores de potencia y de las técnicas de control electrónico han permitido intensificar el uso de motores de alterna, que además de ser más robustos y requerir menos mantenimiento, ofrecen mejores prestaciones para el mismo peso y volumen.

2.5.1 De corriente continúa.

Estos motores constan de dos (2) circuitos, el de campo o inductor y el de armadura o inducido. El campo, básicamente un imán o un electroimán, permite la transformación de energía eléctrica recibida por la armadura en energía mecánica entregada a través del eje.

Las técnicas de control de estos motores son sencillas y de bajo coste:

- **Clásica**, por resistencias o reóstatos en serie con los circuitos de armadura de campo.
- **Troceadores o “choppers”**, en aplicaciones alimentadas con corriente continúa.
- **Rectificadores controlados**, en aplicaciones alimentadas con corriente alterna.

En base a la configuración de los circuitos de campo y armadura se pueden encontrar (Ver Figura 2.14):

- **De imán permanente.** El campo es generado con un imán. El par entregado depende de la corriente de armadura, pero la velocidad es prácticamente independiente de esta corriente, lo que dificulta la regulación de velocidad.
- **De excitación independiente.** El circuito de campo y el de armadura están totalmente separados, lo que permite excitar de forma independiente cada uno de ellos. Estos motores son muy usados por la facilidad de control que ofrecen con reguladores electrónicos
- **De excitación en derivación (Shunt).** Estos motores tienen un comportamiento muy similar a los de imán permanente, aunque en este caso el campo es generado por medio de un devanado.

- **De excitación serie.** La corriente que pasa por el inducido es la misma que pasa por el inductor. Cuando sube la corriente también lo hace el campo bajando la velocidad del eje del motor. Tienen un gran par motor en el arranque y una fácil regulación, por lo que son muy usados en tracción.
- **De excitación compuesta (Compound).** Tiene un comportamiento intermedio entre los dos anteriores, ya que parte del inductor está montado en serie con el inducido y parte en paralelo.

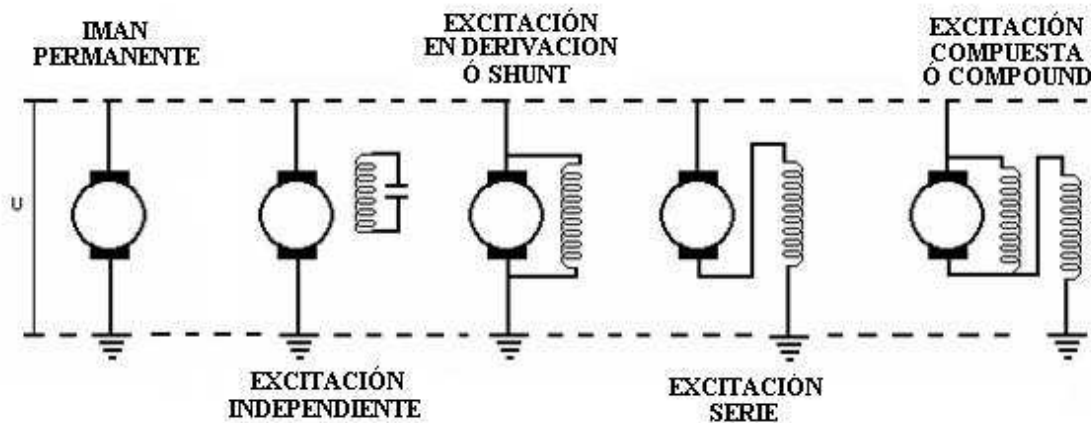


Figura 2.14: Configuraciones de motores de continua.

2.5.2 De corriente alterna.

Aunque algunos autores agrupan en tres (3) tipos los motores de alterna: universales, síncronos y asíncronos, son estos dos (2) últimos los más identificativos y extendidos.

- **Síncronos.** Su velocidad es proporcional a la frecuencia de la tensión que lo alimenta. Necesitan un campo magnético constante que posibilite la transformación de la energía eléctrica recibida por su armadura en energía mecánica. Se pueden controlar mediante variadores de frecuencia. Históricamente la máquina síncrona apenas era utilizada como motor, aunque sí en la generación de grandes energías eléctricas. En los últimos años han aparecido en el mercado motores de nueva generación que ofrecen bajas velocidades y muy altos pares, que los hacen interesantes por la desaparición de las reductoras mecánicas, que era la solución que se utilizaba para poder regular la velocidad.
- **Asíncronos.** También llamados de inducción. Son los motores de alterna más utilizados. No necesitan campo magnético alimentado con corriente continua. Una fuente de corriente alterna trifásica o monofásica excita el estator. La corriente por las bobinas del estator inducen corriente alterna en el circuito del rotor, obligando a este a girar. La regulación de velocidad de estos motores se realiza mediante onduladores de tensión y frecuencia controlados. De acuerdo a la forma de construcción se clasifican en (Ver Figura 2.15):

- **Motores asíncronos de rotor bobinado.** Usados para potencias altas. Permiten colocar resistencias variables en serie con el devanado del rotor para bajar las corrientes de arranque y regular la velocidad.
- **Motores asíncronos tipo jaula de ardilla.** Muy baratos y de fácil construcción, por lo que son los más extendidos. El rotor está construido por un grupo de barras en forma similar a la de una jaula de ardilla.

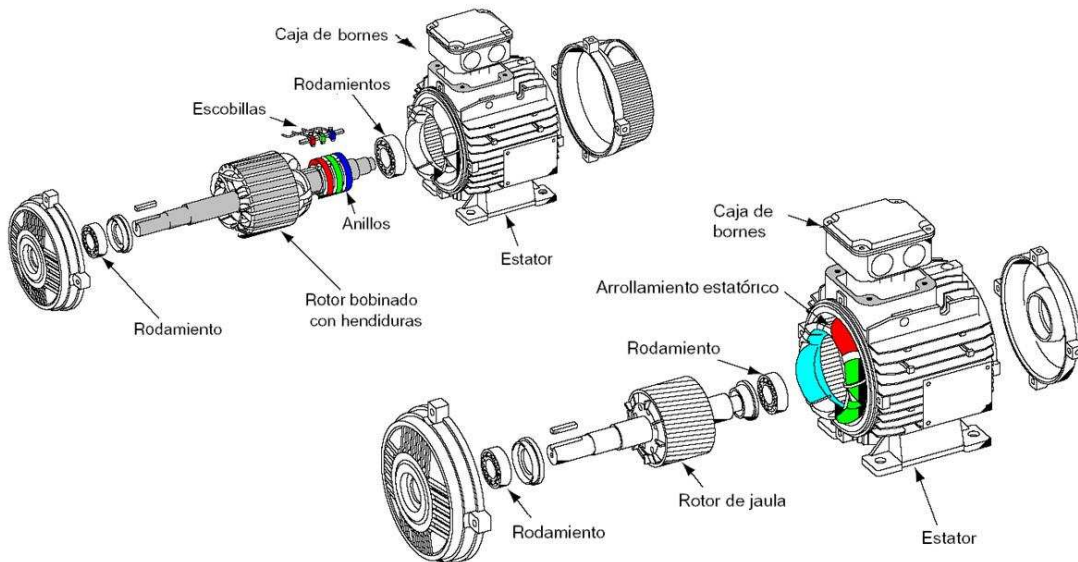


Figura 2.15: Motores asíncronos.

2.5.3 Otros Motores.

Además de los presentados en los apartados anteriores, de un modo especial, se pueden mencionar:

- **Motores paso a paso.** Constan de varios devanados que al ser excitados con corriente continua siguiendo una determinada secuencia, origina el avance del eje de acuerdo a ángulos exactos submúltiplos de trescientos sesenta (360). Muy utilizados en sistemas de control digital de posición. Tienen alto par de arranque y un control de giro muy preciso.
- **Motores lineales.** Como ejemplo tenemos los trenes de levitación magnética. Básicamente consisten en un motor de corriente alterna multifase que tiene su estator “desenrollado”, por lo que produce una fuerza lineal en vez de un par sobre el rotor. Lamentablemente Siemens desde mediados del 2008 se está planteando la continuación de sus proyectos con trenes de levitación debido a su alto coste y ha suspendido el proyecto de construcción de la línea que uniría Munich con su aeropuerto. (Thyssenkrupp, 2009).
- **Motor de par (“Direct Drive”).** Son motores de corriente continua con imán permanente de alnico (aleación de aluminio níquel y cobalto principalmente) o tierras raras. Por su construcción ofrecen muy altos

pares a baja velocidad. Tienen muy poca masa, por lo que ofrecen una excelente relación par-inercia. Son cada vez más usados por permitir la transmisión directamente a la carga, evitando las reductoras mecánicas y ofreciendo gran precisión y resolución en sistemas de posicionamiento (Kollmorgen, 2009).

- **Motores rueda.** Similares a los anteriores, pero especialmente fabricados para vehículos eléctricos ligeros. La gran peculiaridad de estos motores es que están montados en el conjunto de la rueda (Heinzmann, 2009).

2.5.4 Los motores en los vehículos eléctricos.

No se debe confundir el vehículo eléctrico con el vehículo híbrido. En el híbrido existen dos (2) configuraciones claramente establecidas (Ver Figura 2.16).

- **Paralelo.** El motor de combustión y el motor eléctrico atacan al eje motriz.
- **Serie.** El motor de combustión está conectado a un generador que carga las baterías y/o alimenta al motor eléctrico.

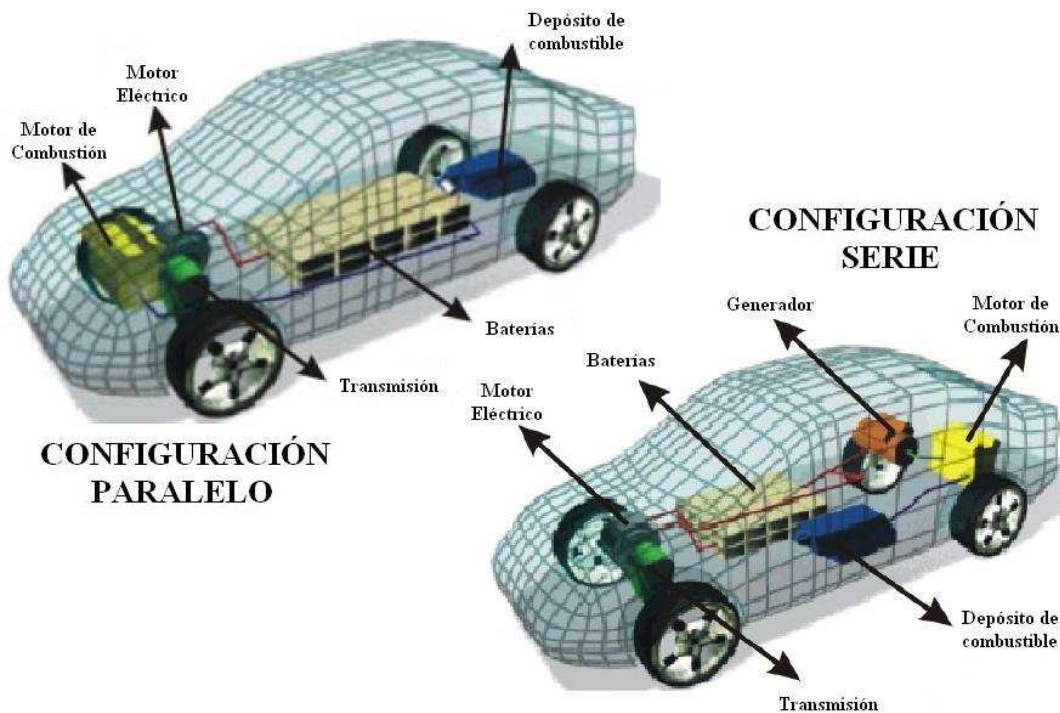


Figura 2.16: Configuración de los motores en los vehículos híbridos.

En un vehículo eléctrico cuando se habla de la disposición de los motores se habla del número de ellos y el modo en que se montan, así pues, generalmente se establecen tres (3) posibles configuraciones (Ver Figura 2.17):

- **Motor - diferencial - rueda.** Motor unido a un diferencial montado sobre el eje motriz.

- **Motor - reductor - rueda.** Conjunto motor-reductor conectado a las ruedas motrices.
- **Motor - rueda.** El motor es parte de las ruedas motrices, quedando el rotor del mismo directamente conectado a la rueda.

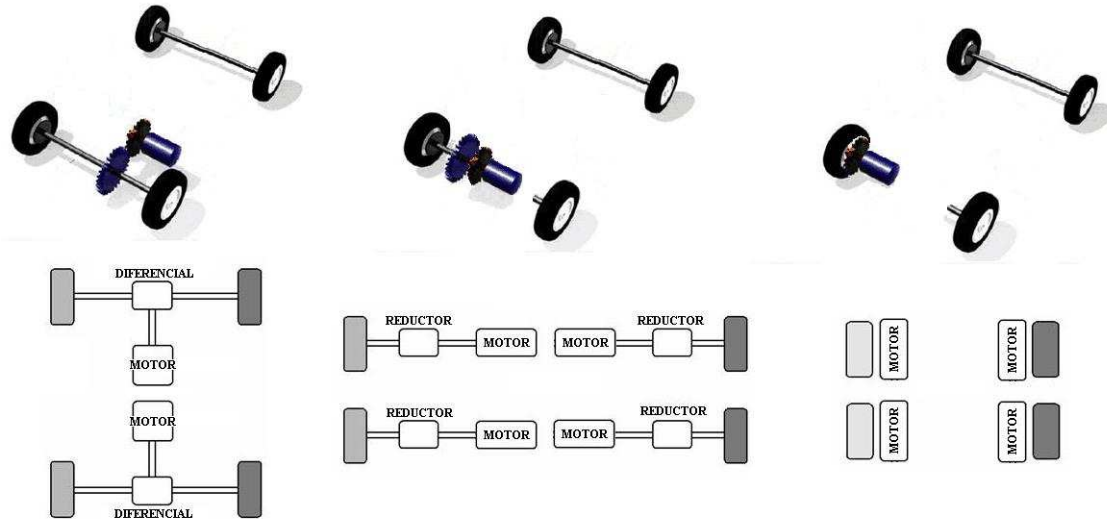


Figura 2.17: Disposición de los motores en los vehículos eléctricos.

2.6 KERS.

Para aquellas personas que disfrutan con el mundo del motor, este acrónimo no les resultará extraño, pero es probable que no sea así para el resto. KERS corresponde a Kinetic Energy Recovery System (Sistema Cinemático de Recuperación de Energía). Básicamente el KERS almacena la energía cinética en el proceso de frenado (que normalmente se convierte en calor que deben disipar los discos de freno) y la entrega a la tracción en la aceleración que suele seguir al mismo (Formula1, 2009).

Principalmente hay dos (2) modos de almacenar y devolver la energía de frenada, si bien hay un tercero que por ahora se ha desechado por su complejidad frente a los otros (Ver Figura 2.18):

- **Eléctrico.** Es el más popular y utiliza un moto-generator que se introduce en la transmisión. Durante la frenada se convierte la energía mecánica en eléctrica almacenándola en una batería y al contrario durante la aceleración.
- **Mecánico.** Utiliza un volante de inercia que puede llegar hasta ochenta mil (80000) rpm e igualmente se introduce en la transmisión. Durante la frenada se transmite el giro al volante y este devuelve la energía almacenada en la aceleración. Es más eficiente que el eléctrico.

- **Hidráulico.** Aunque está propuesto no es probable que sea adoptado. Se trata de acumular presión hidráulica durante la frenada y devolverla en la aceleración.

Aunque en fechas recientes algunas marcas conocidas del mundo del automóvil han comenzado la producción y venta de vehículos que gestionan la recuperación de energía, los fabricantes de estos sistemas no son muchos ya que es una tecnología “relativamente” novedosa, pudiendo mencionar entre otros a Torotrak o Flybrid System (Torotrak, 2009) (Flybrid, 2009).

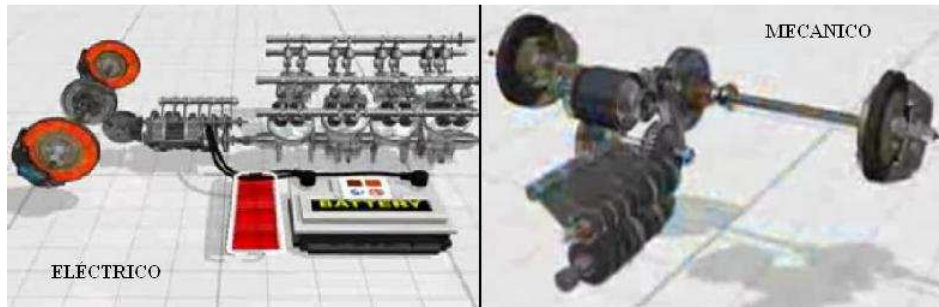


Figura 2.18: KERS.

2.7 DARPA GRAND/URBAN CHALLENGE - “EL GRAN DESAFÍO”.

El DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) Grand Challenge es una competición de vehículos autónomos, que se celebra en Estados Unidos, los cuales deben ir de un punto “origen” a otro “destino” sin intervención humana pasando por una serie de puntos intermedios de referencia. Esta competición surge pretendiendo incentivar el avance tecnológico en el mundo del automóvil y su aplicación futura en los SIT, así como en los vehículos militares del Departamento de Defensa de Estado Unidos (DARPA, 2009) (C.Urban, 2009).

El otro interés de los participantes es menos “científico” y más “crematístico”, es el reparto de premios ya que el ganador recibe dos (2) millones de dólares, el segundo lugar un (1) millón dólares y el tercero con quinientos mil (500000).

La primera edición se celebró en 2004 en el desierto del Mojave y ningún coche consiguió terminar. En la edición de 2005 varios vehículos lograron terminar el circuito, siendo el equipo de la Universidad de Stanford el ganador debido a un percance técnico del equipo de Carnegie Mellon University. La siguiente edición se celebró en 2007, cambiando el nombre por Urban Challenge ya que introducía un circuito urbano en el que los participantes deberían respetar las normas de tráfico y comportarse correctamente en presencia de tráfico.

En la Tabla 2.4 siguiente se muestran los participantes que alcanzaron la final y plataforma base utilizada por cada ellos (TartanRacing, 2009) (StandforRacing,

2009) (VictorTango, 2009) (MIT, 2009) (BenFranklin, 2009) (CornellRacing, 2009) (CarOLO, 2009) (Oshkosh, 2009) (UFC, 2009) (AnnieWay, 2009).

| Equipo | ID | Vehículo | Tipo | Posición |
|--|----|--------------|----------------------------|-------------|
| Tartan Racing | 19 | Boss | Chevy Tahoe | Primero |
| Standfor Racing | 03 | Junior | VolksWagen Passat Wagon | Segundo |
| Victor Tango | 32 | Odin | Ford Hybrid Escape 2005 | Tercero |
| MIT | 79 | Talos | Land Rover LR3 | Cuarto |
| The Ben Franklin Racin Team | 74 | Little Ben | Toyota Prius 2006 | Finalizó |
| Cornell | 26 | Skynet | Chevy Tahoe 2007 | Finalizó |
| CarOLO | 62 | Caroline | VolksWagen Passat Wagon | No Finalizó |
| HoneyWell Intelligent Vehicle Systems | 15 | XAV-250 | Ford F-250 | No Finalizó |
| Team Oshkosh Truck | 21 | TerraMax | US Maryne Corps | No Finalizó |
| Team UCF | 13 | Knight Rider | Subaru Legacy Outrack | No Finalizó |
| Team Annie Way | 54 | AnnieWay | VolksWagen Passat Wagon | No Finalizó |

Tabla 2.4: Plataformas base utilizadas por los finalistas del DARPA Urban Challenge de 2007.

Prácticamente todos los participantes utilizan el GPS para el posicionamiento físico y tecnología de sensores para la orientación. Casi todos los sensores que se han descrito anteriormente pueden apreciarse en estos vehículos.

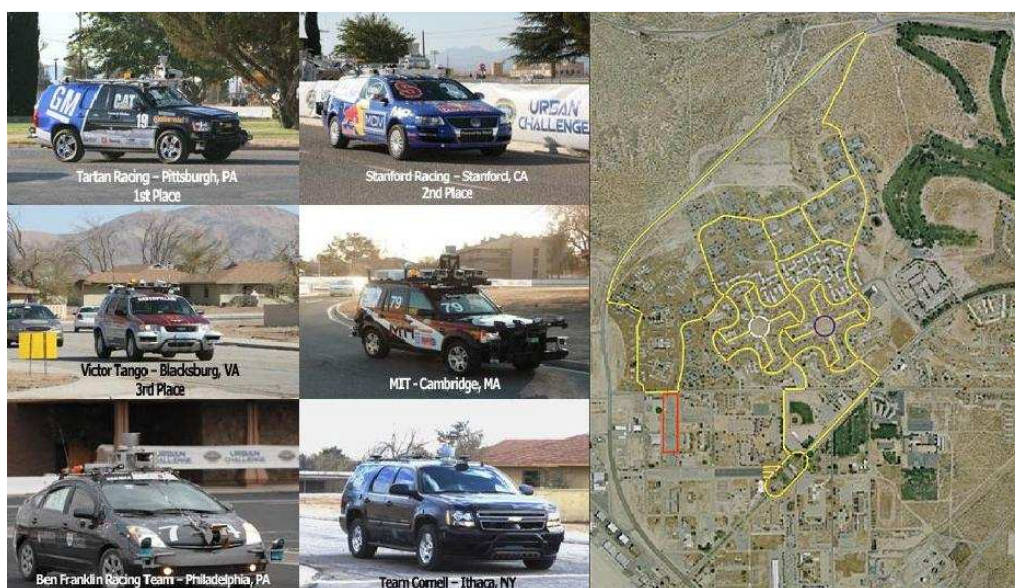


Figura 2.19: Vehículos finalistas DARPA Urban Challenge y plano del circuito.

2.7.1 Las reglas de la plataforma.

En la reglamentación que debe cumplir la plataforma es primordial la seguridad, que ha de tener en cuenta todas las personas que pueda encontrarse en sus proximidades, otros vehículos y objetos. Además, de modo resumido, todos los vehículos que participan en esta competición están sujetos a (DARPA, 2009) (OSHA, 2009):

- **Comportamiento del vehículo.** Durante la prueba deberá practicar un comportamiento autónomo pero se permite la tele-operación cuando no se esté realizando ninguna prueba.
- **Definición de la plataforma.**
 - Los vehículos deben estar sobre un chasis comercial o con documentación de que cumplen con seguridad.
 - El peso del vehículo debe estar entre dos mil (2000) y treinta mil (30000) lbs (novecientos (900) y trece mil seiscientos (13600) Kg), estando el vehículo descargado y con el depósito lleno.
 - La distancia entre ejes debe ser al menos de setenta y dos (72) pulgadas (mil ochocientos veintiocho (1828) mm), será mayor de nueve (9) pies (dos mil setecientos cuarenta (2740) mm) de ancho y doce (12) pies (tres mil seiscientos cincuenta (3650) mm) de alto.
 - Debe ser capaz de avanzar y retroceder de modo autónomo y realizar un giro en “U” en entornos urbanos en menos de treinta (30) pies (nueve mil ciento noventa (9190) mm).
 - Solo se permiten vehículos terrestres. Deben tener al menos cuatro neumáticos (no se permiten los guiados), y disponer de “bumpers” delanteros y traseros. Debe ser capaz de moverse sobre asfalto sin dañar la superficie del mismo.
 - Los ordenadores, el procesado y los sensores deben estar en el interior fijados y asegurados.
 - Está prohibido el uso de materiales y sustancias peligrosas y no se permite arrojar objetos fuera del vehículo. Tampoco está permitido generar “cortinas de humo”.
 - Debe poder cargarse la misión con un flash drive vía USB 2.0 y pasar de funcionamiento autónomo a manual en menos de cinco (5) minutos.
- **Número de identificación del vehículo.** Un número claramente visible para identificar el vehículo de al menos doce (12) pulgadas (trescientos cinco (305) milímetros) de alto, situado en sus laterales, delante, detrás y encima.
- **Seguridad del vehículo.** La organización comprobará la seguridad mínima y exigirá hoja de características y vídeos demostrativos.

- **Energía radiada.** Básicamente se debe cumplir con la normativa que establece el Departamento de trabajo estadounidense relativas a seguridad y salud (OSHA - Occupational Safety and Health Administration).
 - Cumplir con las regulaciones locales, estatales y federales de seguridad de LASER (Standards-29CFR Nonionizing radiation - 1926.54. Evitar radiación directa especialmente a los ojos, potencia máxima de emisión, señalización, prohibición de su uso en caso de niebla, lluvia, nieve, etc.).
 - Cumplir con las regulaciones locales, estatales y federales de seguridad de RF (Standards-29CFR Nonionizing radiation - 1910.97. Evitar radiación directa, potencia máxima de emisión, señalización, etc.).
 - Cumplir con las regulaciones locales, estatales y federales de seguridad acústica (Standards-29CFR Occupational noise exposure - 1910.95. Evitar soportar altos niveles de presión acústica así como tiempo prolongado (relación entre Presión acústica y Tiempo de exposición diario), señalización, uso de EPI, etc.).
- **Unidad de Parada de Emergencia (E-Stop).** La organización entrega esta Unidad que funciona vía radio “wireless”. Dispone de tres modos de funcionamiento:
 - E-Stop RUN. Modo que habilita el funcionamiento autónomo.
 - E-Stop PAUSE. Lleva al vehículo a un estado de parada con el sistema de frenos accionado, manteniendo el vehículo parado incluso en una pendiente. Debe estar preparado para pasar nuevamente al modo RUN.
 - E-Stop DISABLE. Detiene el vehículo y corta toda la propulsión mientras activa y mantiene el sistema de frenado.
- **Dispositivos de aviso.** El vehículo debe equiparse con un avisador acústico y luminoso.
 - El vehículo generará señal acústica cuando el vehículo esté en Modo RUN y éste no podrá ponerse en marcha hasta al menos cinco segundos después de generar la señal acústica. Ésta señal será de al menos ochenta y cinco (85) dBA a diez (10) Ft (unos 3 metros) delante del vehículo. El sonido debe ser claramente distinguible y no puede confundirse con cualquier otro generado por el vehículo.
 - El vehículo generará una señal visual de color ámbar cuando el vehículo esté en Modo RUN o PAUSE. Esta señal será visible los trescientos sesenta (360) grados alrededor del vehículo y debe cumplir con la norma SAE Clase-1, ser claramente distinguible y no confundirse con cualquier otra generada por vehículos de seguridad pública (ambulancias, bomberos, etc.).

En resumen:

- Modo E-Stop RUN: Alarma de audio sonando y luz de Warning encendida.
- Modo E-Stop PAUSE: Alarma de audio apagada y luz de Warning encendida.
- Modo E-Stop DISABLE: Alarma de audio apagada y luz de Warning apagada.

2.7.2 La normativa en Europa / España.

Es evidente que al realizarse la competición en los Estados Unidos, son las normas estatales que rigen en dicho país las que deben aplicarse, pero si la competición se realizase en Europa, y más concretamente en España, las normas deberían ser otras. Así cuando se definiese la plataforma se deberían tomar las Directivas Europeas publicadas y definir los límites basándose en estas. Estas directivas, en España, se encuentran recogidas en el Real Decreto 2.822/1.998 donde se presenta el “Reglamento general de vehículos” (BOE, 2009).

Para declarar el vehículo existen varios criterios, así:

- **Según el criterio de construcción**, se puede definir el tipo de vehículo como:
 - Turismo: vehículo de cuatro ruedas dedicado al transporte personas, y de hasta nueve (9) plazas.
 - Camión: vehículo de cuatro ruedas o más, dedicado al transporte de mercancía. Existen tres (3) tipos en función de su Masa Máxima Admisible (MMA): $MMA < 3500$, $3500 < MMA < 12500$ y $12500 < MMA$.
 - Furgón / Furgoneta: vehículo de cuatro ruedas, dedicado al transporte de mercancía y cabina integrada en carrocería.
 - Autobús: vehículo de cuatro ruedas o más dedicado al transporte de personas y sus equipajes y con más de nueve (9) plazas.
- **Según el criterio de utilización**, el Reglamento define casi ochenta (80) posibles usos y ninguno de ellos correspondería inequívocamente algún caso similar a este, por tanto sólo sería posible definirlo como: “00 Ninguno”.
- **Declaración del vehículo**. En la ficha técnica de todos los vehículos se comienza por definir el mismo, así debería declarar “vehículo especial”. Ya que:
 - Vehículo especial: Se sale de las definiciones y los límites.

Una vez identificativo y declarado el vehículo se deberían buscar los límites del mismo, así:

- **Peso**: una clasificación sencilla y sin entrar en detalle de la distancia entre los ejes de un tándem o un tándem triaxial puede ser:
 - La MMA de un turismo, en general, no excederá tres con cinco (3,5) toneladas.

- La MMA del eje motor no excederá de once con cinco (11,5) toneladas.
- La MMA del eje no motor no excederá de diez (10) toneladas.
- La MMA de un eje tándem no excederá de dieciocho (18) toneladas.
- La MMA de un eje tándem triaxial no excederá de veinticuatro (24) toneladas.
- **Alto:** incluida la carga, no excederá de cuatro mil (4000) milímetros.
- **Ancho:** como regla general no excederá de dos mil quinientos cincuenta (2550) milímetros.
- **Largo:** en un vehículo rígido de motor, independientemente del número de ejes su longitud máxima no excederá de doce mil (12000) milímetros.

En la competición, el límite de Energía Radiada lo establece la normativa del Departamento de trabajo estadounidense relativas a seguridad y salud (OSHA-Occupational Safety and Health Administration). El equivalente en España es el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INHST) (BOE, 2009).

Siguiendo la normativa que ´ este establece:

- Debería cumplir con la reglamentación exigible a “Radiaciones no ionizantes”, que establece la Directiva Europea 1.999/519/CE y que en España queda recogida en el R.D. 1.066/2.001. Estas radiaciones cubren el rango de cero (0) Hz a tres mil (3000) THz, clasificándose estas frecuencias en los siguientes intervalos:
 - Campos eléctricos y magnéticos estáticos (imanes, conductores eléctricos de corriente continua, etc.).
 - Ondas electromagnéticas de Extremadamente Baja Frecuencia. El intervalo de frecuencias alcanza hasta tres (3) kHz (líneas eléctricas de corriente alterna). Respecto a los Campos eléctricos y magnéticos estáticos y Ondas electromagnéticas de Extremadamente Baja Frecuencia, se sabe que pueden tener efectos nocivos en el sistema nervioso y cardiovascular. Se discute en la actualidad la fiabilidad de ciertos estudios que otorgan la capacidad de producir ciertos tipos de cáncer a las radiaciones de Extremadamente Baja Frecuencia, pero las restricciones que actualmente se aplican a este tipo de radiaciones no tienen en cuenta por ahora dichos efectos.
 - Ondas electromagnéticas de Muy Baja Frecuencia. El intervalo de frecuencias es de tres (3) a treinta (30) KHz (algunas máquinas de soldadura por inducción).
 - Ondas electromagnéticas de Radio Frecuencia (RF). El intervalo de frecuencias es de treinta (30) KHz a un (1) GHz (ultrasonidos, ondas de radio y televisión, soldadura de plásticos, etc.).
 - Microondas. Ondas electromagnéticas entre uno (1) y trescientos (300) GHz (hornos de microondas, telefonía móvil, etc.). Las microondas son especialmente peligrosas por los efectos sobre la salud derivados de la

gran capacidad de calentamiento que poseen, al potenciarse su acción cuando inciden sobre las moléculas de agua que forman parte de los tejidos. Con menor facilidad logran el efecto de calentamiento de los tejidos las ondas electromagnéticas correspondientes a la Radio Frecuencia y Muy Baja Frecuencia.

- Infrarrojos (IR). Ondas electromagnéticas entre trescientos (300) GHz y trescientos ochenta y cinco (385) THz (lámparas de infrarrojos, material candente, etc.).
 - Luz visible. Ondas electromagnéticas entre trescientos ochenta y cinco (385) y setecientos cincuenta (750) THz (iluminación general).
 - Ultravioleta (UV) no ionizante. Ondas electromagnéticas entre setecientos cincuenta (750) y tres mil (3000) THz (lámparas solares, lámparas de detección de taras, lámparas de insolación industrial, etc.).
 - Referidas al uso del LASER, se establece la normativa de seguridad según la norma UNE/EN60825-1:1.996, UNE-EN60825-1/A2:2002, complementadas con las referidas a protecciones de los ojos por el uso de filtros UNE-EN207:1.999 y de gafas UNE-EN208:1.999. La radiación Láser consiste en un haz direccional de radiación visible, ultravioleta infrarroja, diferenciándose de ésta en que su emisión corresponde a una frecuencia muy concreta (dentro de la banda correspondiente) y no a una mezcla de varias, como ocurre cuando se habla de una radiación visible, UV o IR.
- Debería cumplir con la reglamentación exigible a la “Protección frente al ruido”, que establece la Directiva Europea 2.003/10/CE y que en España quedaba recogida en el R.D. 1.316/1.989, que fue actualizado con posterioridad en el R.D.286/2.006. En este se recogen, entre otros, los niveles de presión acústica frente al tiempo de exposición.
 - Debería cumplir con la reglamentación exigible a la “Señalización de seguridad y salud”, que establece la Directiva Europea 1.992/58/CE y que en España quedaba recogida en el R.D. 485/1.997. Tal vez uno de los temas más interesantes de este Real Decreto es el uso de colores en la señalización que se muestra en su Anexo II y que de modo resumido se presenta en la Tabla 2.5. Por último notar que en este Real Decreto también se recoge, entre otras, en su Anexo IV las Características y Requisitos de las señales luminosas y acústicas. En la Figura 2.20, a modo de ejemplo, se muestran algunas señales con el uso de distintos colores asociados al significado que ofrecen.



Figura 2.20: Uso de color en las señales.

- De modo general debería cumplir con la reglamentación exigible a la “Seguridad de máquinas”, que establece la Directiva Europea 1.989/392/CE y que en España quedaba recogida en el R.D. 1.435/1.992 y modificado en EL R.D. 56/1.995 para su comercialización y en R.D. 1.215/1.997 para su utilización.

| Color | Color de Contraste | Significado | Indicaciones y precisiones |
|--------------------------------|--------------------|--|--|
| Rojo | Blanco | Señal de prohibición | Comportamientos peligrosos. |
| | | Peligro Alarma | Alto, parada, dispositivo de parada de emergencia. Evacuación. |
| | | Material y equipos de lucha contra incendios | Identificación y localización. |
| Amarillo ó Amarillo anaranjado | Negro | Señal de advertencia | Atención, precaución. Verificación. |
| Azul | Blanco | Señal de obligación | Comportamiento ó acción específica. Obligación de utilizar equipo. |
| Verde | Blanco | Señal de salvamento ó auxilio | Puertas, salidas, pasajes, material, puestos de salvamento ó de socorro. |
| | | Situación de seguridad | Vuelta a la normalidad |

Tabla 2.5: Colores en la señalización de seguridad.

Resulta especialmente llamativo que en las reglas sólo aparecen requerimientos de seguridad y no se hace mención a otras normativas, como por ejemplo, de seguridad eléctrica/electrónica o compatibilidad electromagnética (IEC, 2009).

Así, entre otros:

- Debería cumplir, de modo general, con el “Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión”, que fue aprobado en el año 2.002 (R.D. 842/2.002).
- Debería cumplir con la normativa de “Compatibilidad Electromagnética”, que establece la Directiva Europea 1.989/336/CE y que es de obligado cumplimiento desde el 1 de Octubre de 1.996. En esta se establece una serie de normativas de ensayo para comprobar el correcto funcionamiento y entre las cuales se pueden mencionar (AENOR, 2009):
 - EN55022 de Emisión Radiada y Emisión conducida.
 - EN61000-4-2 de Descarga electrostática (ESD).
 - EN61000-4-3 de Inmunidad radiada.
 - EN61000-4-6 de Inmunidad conducida.
- Debería cumplir, de modo general, con la reglamentación referida a material eléctrico y electrónico a bordo de un vehículo, pudiendo mencionar entre otras algunas normas como (AENOR, 2009):

- ISO7588-1/1.998: Para vehículos. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte I: Relés e intermitentes (Publicación 15/7/08).
- UNE 26299-1/2.003: Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte I: Relés y centrales de intermitencia (Publicación 25/7/03).
- ISO 7588-2/1.998: Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte II: Dispositivos electrónicos (Publicación 25/7/03).
- UNE26299-2/2003: Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte II: Dispositivos electrónicos (Publicación 25/7/03).
- UNE26299-2/2004 (ERRATUM): Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte II: Dispositivos electrónicos (Publicación 24/12/04).
- ISO 7588-3/1.998: Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte III: Micro-relés (Publicación 15/7/08).
- UNE26299-3/2003: Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte III: Micro-relés (Publicación 25/7/03).
- UNE26299-3/2004 (ERRATUM): Para vehículos de carretera. Dispositivos de conmutación eléctricos/electrónicos: Parte III: Micro-relés (Publicación 25/6/04).
- ISO 8092-2/2.005: Conexiones para cableado de alumbrado eléctrico a bordo: Parte II: Definiciones, métodos de prueba y exigencias de funcionamiento en general (Publicación 18/11/05).
- ISO 10.483-1/2.008: Para vehículos de carretera. Interruptores de potencia inteligentes - Parte 1: Lado del suministro (Publicación 6/3/08).
- ISO 10.483-2/2.008: Para vehículos de carretera. Interruptores de potencia inteligentes - Parte 2: Lado de la carga (Publicación 6/3/08).
- EN60947-5-1/2.003: Aparata de baja tensión - Parte 5-1: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparatos electromecánicos para circuitos de mando (Publicación Oct/2.003).
- EN60947-5-3/1.999: Aparata de baja tensión - Parte 5-3: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Requisitos para dispositivos de detección de proximidad con comportamiento definido en condiciones de defecto (Publicación Mar/1.999).
- EN60947-5-5/1.997: Aparata de baja tensión - Parte 5-5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparato de parada de emergencia eléctrica con enclavamiento mecánico (Publicación Nov/1.997).

- EN60947-5-6/1.999: Aparamenta de baja tensión - Parte 5-6: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Interfaz de corriente continua para sensores de proximidad y amplificadores de conmutación (Publicación Dic/1.999).
- EN60947-5-7/2.003: Aparamenta de baja tensión - Parte 5-7: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Requisitos para detectores de proximidad con salida analógica (Publicación Jun/2.003).
- EN60947-5-8/2.006: Aparamenta de baja tensión - Parte 5-8: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Interruptores de mando de validación de tres posiciones (Publicación Dic/2.006).
- EN60947-5-9/2.006: Aparamenta de baja tensión - Parte 5-9: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Detectores de caudal (Publicación Dic/2.006).

Capítulo 3: Descripción general de la plataforma iCab.

El proyecto consiste en rediseñar la unidad de tracción mejorando la ya existente mediante la eliminación de detalles sin utilidad y la adición otros que permitan un mejor funcionamiento, en concreto:

- Corregir deficiencias del diseño y subsanar errores.
- Rediseñar el hardware partiendo de un diseño funcional y probado.
- Aumentar la funcionalidad.
- Realizar un rediseño modularizando los componentes para permitir una fácil sustitución.
- Comunicar a la unidad de dirección la existencia de algún problema en la unidad de tracción.
- Controlar la tracción del vehículo en lazo cerrado conforme a órdenes enviadas desde unidades superiores (modo automático).
- Controlar la tracción del vehículo en lazo abierto a petición del usuario (modo manual).
- Controlar su alimentación de potencia.

3.1 ESQUEMA GENERAL Y UNIDADES DEL iCab.

El iCab lo conforman tres unidades:

- **Unidad de Tracción (UTRC):** es la encargada del control del movimiento de las ruedas motrices del vehículo, con las siguientes funciones:
 - Controlar su alimentación de potencia y la de la Unidad de Dirección.
 - En modo Automático: Controlar la tracción del vehículo (en lazo cerrado), conforme a las órdenes enviadas desde las Unidades superiores.
 - Modo Manual: Controlar la tracción del vehículo (en lazo abierto), conforme lo manipule un usuario.
 - Comunicar a la Unidad de Dirección, si existe algún problema en la Unidad.
 - Tanto en modo Manual como Automático debe atender a las protecciones de las que está dotada.

- **Unidad de Dirección (UDIR):** es la encargada del control de la posición de las ruedas directrices. A este sistema se le atribuye el subsistema de joystick que controla la dirección en modo manual. Tiene las siguientes funciones:
 - En Modo Automático: Controlar la dirección del vehículo (en lazo cerrado), conforme a las órdenes enviadas desde las Unidades superiores.
 - En Modo Manual: Controlar la dirección del vehículo (en lazo abierto), conforme lo manipule un usuario.
 - Comunicar a la Unidad de Tracción, si existe algún problema en la Unidad.
 - Tanto en Modo Manual como Automático debe atender a las protecciones de las que está dotada.
- **Unidad de comunicación (UCOM):** es la interfaz encargada de comunicar las unidades de dirección y tracción con el PC. Tiene las siguientes funciones:
 - Aislar eléctricamente las Unidades de Tracción y Dirección del resto del Sistema.
 - Convertir las líneas RS485, de que disponen las Unidades de Dirección y Tracción, en un único USB que facilite la conexión con el resto del Sistema.

De modo esquemático, tenemos:

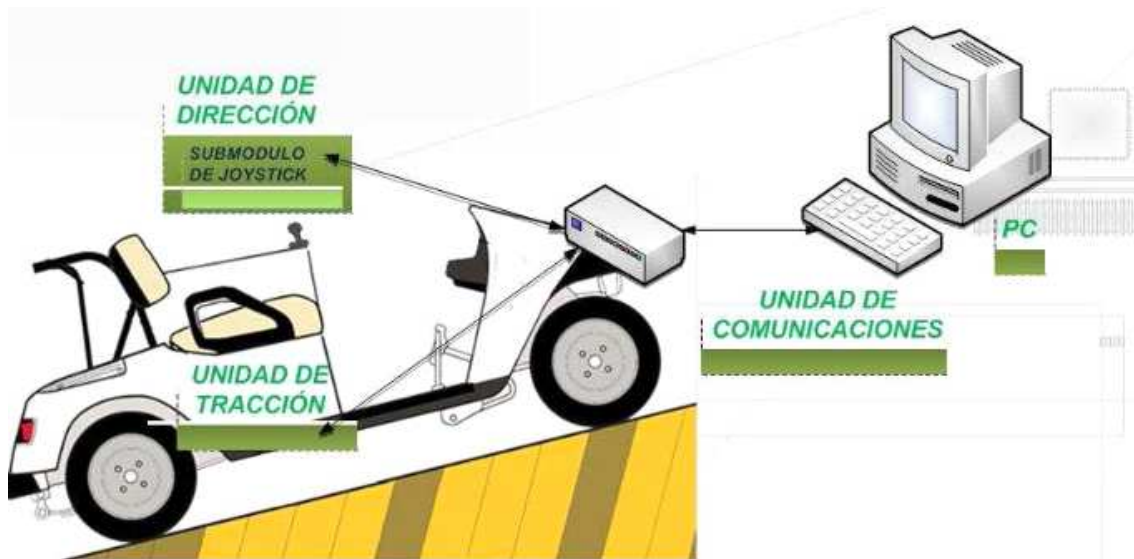


Figura 3.1: Esquema de bloques del conjunto y localización en la plataforma.

Con más detalle:

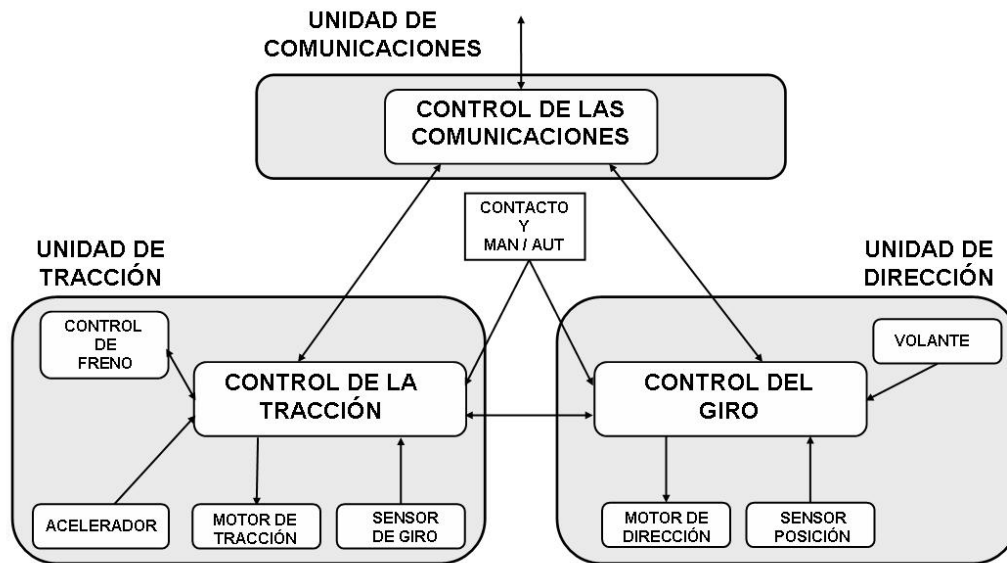


Figura 3.2: Esquema de bloques.

Y en cuanto su tendido eléctrico:

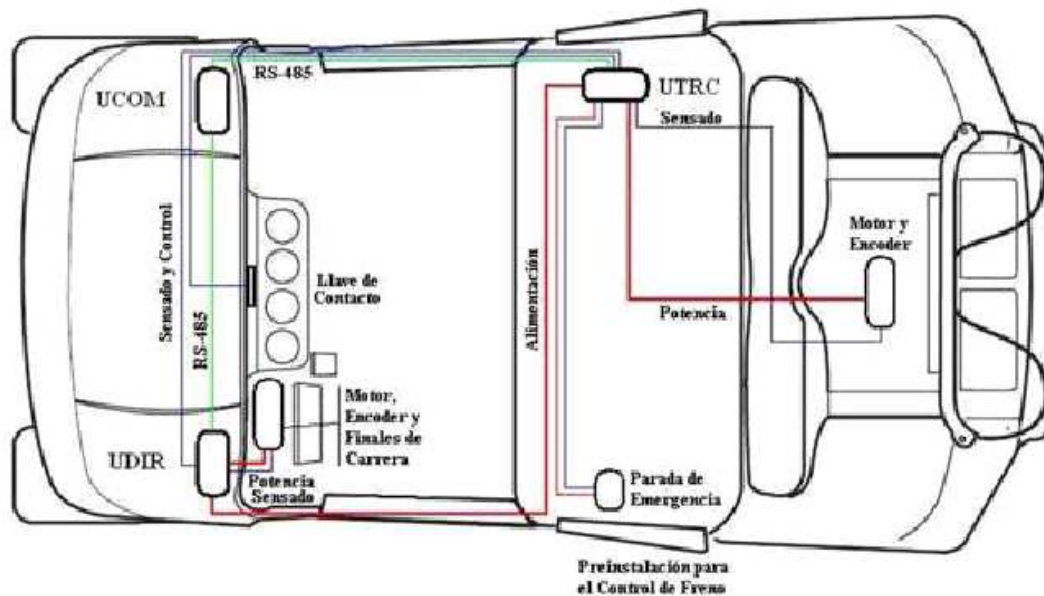


Figura 3.3: Ubicación de las unidades y los tendidos eléctricos del iCab1.

Las distintas Unidades están situadas como muestra la siguiente Figura.



Figura 3.4: Ubicación de las unidades.

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES.

3.2.1 Unidad de Comunicaciones.

La Unidad de Comunicaciones presentaba problemas potenciales de ruido, los motores del sistema generan ruido al accionarlos con señales moduladas por ancho de pulso (PWM).

Como se disponía de dos comunicaciones RS-485 (una por cada modulo) se optó por la adquisición de una interfaz de RS-485 (2) a USB para facilitar el conexionado con el PC. Se seleccionó RS-485 en lugar del RS-232 ya que se utiliza una transmisión diferencial que es más inmune al ruido.



Figura 3.5: Esquema de montaje de Unidad de Comunicaciones.

La unidad de comunicaciones se ubica en la guantera derecha, el tendido de los cables de comunicaciones se realiza como se aprecia en la Figura 3.5, para limitar

al máximo las interferencias que provengan de la alimentación de las unidades y de las alimentaciones de los motores.

3.2.2 Unidad de Dirección.

La dirección original del vehículo era completamente mecánica y se controlaba a través del volante, la barra de dirección, la cruceta y una cremallera de tres vueltas y media. El conjunto controlaba el giro en las ruedas delanteras de 13 pulgadas.

Se rediseñó todo el sistema eliminando el volante, incorporando un motor eléctrico y una unidad de dirección para gobernar el conjunto.

En la Figura siguiente se puede observar el conjunto electromecánico y su ubicación en el vehículo:

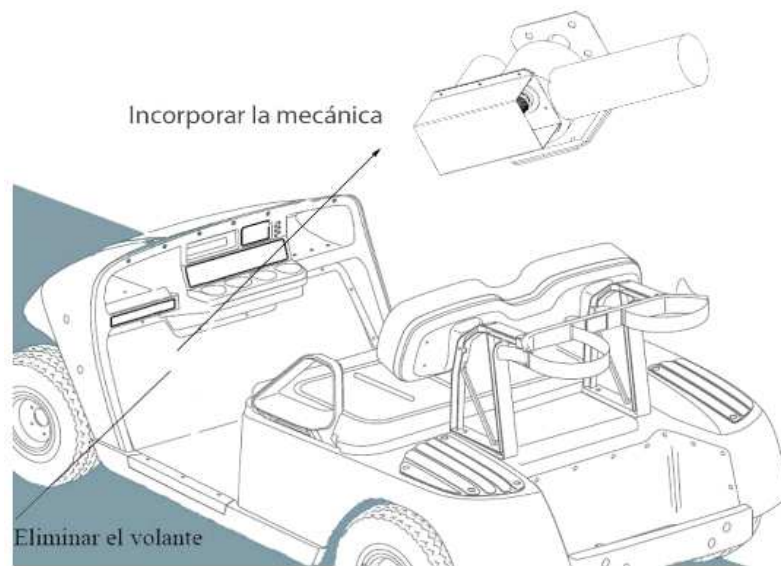


Figura 3.6: Esquema de motor de la dirección.

La unidad de dirección de la plataforma iCab está compuesta por 2 módulos:



Figura 3.7: División de la UDIR.

- **Módulo de control:** Es el encargado de gestionar las comunicaciones con la unidad de tracción, con el PC y generar las señales de control para el modulo de potencia.

El módulo de control se divide en subsistemas (o circuitos) para poder definir mejor las peculiaridades de los mismos y, con ello, las del módulo. A continuación se muestran los subsistemas que lo forman:



Figura 3.8: Módulo de Control de la UDIR y Subsistemas.

- **Módulo de potencia:** Es el encargado de procesar las señales que le llegan del módulo de potencia y compararlas con las señales que envían los finales de carrera mecánicos para gestionar el movimiento del motor. El módulo de potencia se divide en los siguientes subsistemas:

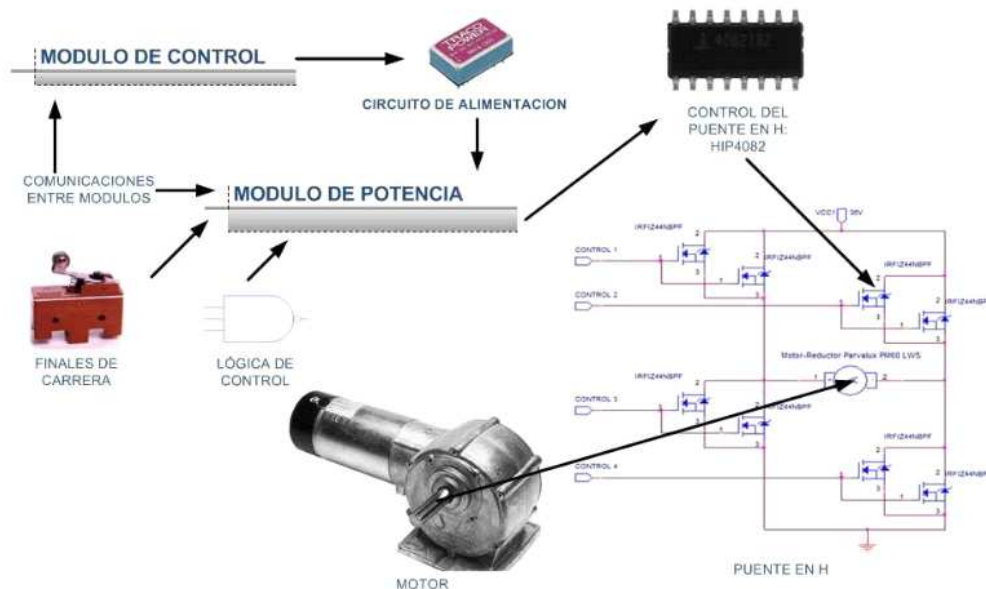


Figura 3.9: Módulo de Potencia de la UDIR y Subsistemas.

3.2.3 Unidad de Tracción.

La unidad de tracción ha introducido cambios mecánicos en la plataforma original y ha necesitado del diseño hardware para el control de la tracción y poder establecer las comunicaciones con las otras unidades.

El motor original desarrolla una potencia de 1900 [W] a 2700 [rpm] y su tensión nominal es de 36 [V]³. El motor es del tipo de excitación independiente y está acoplado a una reductora con diferencial y desmultiplicador de 12,44:1. La cadena de transmisión envía el movimiento a los neumáticos traseros de 13 pulgadas. El sistema presentaba un encoder de 4 pulsos por vuelta y el lazo de control era abierto, por lo cual se ha sustituido el encoder por uno de mayor resolución y se ha realimentado el sistema para poder controlar la aceleración, velocidad y posición del motor y de la plataforma.

3.3 MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLATAFORMA.

El sistema dispone de dos modos de funcionamiento que se pueden intercambiar cuando la plataforma está apagada. (Ver Figura 3.10)



Figura 3.10: Modos de funcionamiento de la plataforma.

- **Automático:** es gobernado por un PC a través del envío de información a la unidad de comunicación y ésta, a su vez, a las otras dos unidades. El PC de control envía información de la velocidad y la aceleración de consigna del vehículo a la unidad de tracción y el ángulo y la velocidad de giro de las ruedas directrices a la unidad de dirección. El PC actúa con un nivel de abstracción mayor que la plataforma, puesto que es el encargado de generar la ruta a través de los sensores y posicionadores de que dispone. De esta forma se facilitan futuras líneas de investigación relacionadas con el control de la plataforma (SIT, V2V y V2I).
- **Manual:** lo manejan los pedales originales de la plataforma (para el movimiento longitudinal) y un joystick que manda la señal de posición a la unidad de dirección para controlar el giro de las ruedas directrices. En este

modo la conducción la realiza un operador y el uso de este modo está claramente indicado en las etapas de desarrollo, depuración y diseño.

3.4 SISTEMAS ELECTROMECAÓNICOS.

3.4.1 Unidad de comunicaciones.

La Unidad de Comunicaciones consiste en un conversor comercial de USB 2.0 a dos puertos RS-422/485 (USB-2COMi-SI-M, 2007). La única acción necesaria se reduce a su fijación al vehículo. (Ver Figura 3.11)



Figura 3.11: Ubicación de la unidad de comunicaciones.

3.4.2 Unidad de tracción.

3.4.2.1 Encoder

La acción mecánica principal sobre La Unidad de Tracción consiste en la retirada del encoder original y en el acoplamiento del nuevo sobre el motor. El encoder utilizado es el modelo 426-1024-02S12-03 de Heidenhain (ROD426, 2004). Es un encoder incremental que entrega 1024 cuentas por vuelta mediante dos señales diferenciales en cuadratura. El encoder dispone además de una señal de fallo que es empleada como una medida más de seguridad. Para la transmisión del movimiento del rotor del motor al eje del encoder se ha utilizado un acoplamiento elástico que absorba las faltas de alineamiento radial, angular y axial (Ver Figura 3.12).

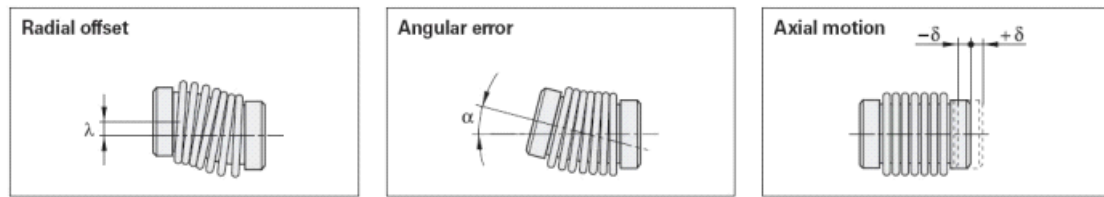


Figura 3.12: Falta de alineamiento radial, angular y axial.

El acoplamiento elástico está montado en uno de sus extremos en el eje del encoder. El otro extremo va solidario al rotor del motor por medio de una pieza de transición fabricada para tal efecto y que adapta el diámetro del acoplamiento a la forma en que el encoder original se atornillaba al rotor. De esta forma no ha sido necesaria la mecanización del rotor del motor. Para unir la carcasa del motor con la del encoder se ha fabricado un “vaso” que los une y aloja en su interior al acoplamiento elástico y la pieza mencionada anteriormente. Para atornillar el vaso ha sido necesario mecanizar 4 taladros en la carcasa del motor para embutir tuercas remachables, dado el escaso espesor de esta carcasa. El proceso de montaje del encoder se puede ver de forma gráfica en la Figura 3.13.



Figura 3.13: Montaje del encoder de la Unidad de Tracción.

3.4.2.2 Freno automático

Aunque la implementación del freno no está dentro del alcance del proyecto, sí se han de tener una serie de consideraciones.

- En el Modo de Funcionamiento Manual el freno automático permanecerá inactivo, mientras que en el Modo de Funcionamiento Automático será usado para inmovilizar el vehículo una vez se haya detenido, y poder así

desexcitar el motor de tracción. El freno se desactivará de nuevo al emprender la marcha.

- El sistema electromecánico que accione el freno debe ser compatible con el Modo de Funcionamiento Manual, de tal forma que cuando esté desexcitado no se oponga a su accionamiento por un operador.
- El freno automático debe disponer de un microswitch o similar que avise al control de la Unidad de Tracción si el freno ha sido accionado por un operador, para que en el Modo de Funcionamiento Automático se corte excitación al motor de la tracción. Un accionamiento manual en el modo automático es entendido por el control como una condición de parada de emergencia.
- El interfaz eléctrico, que se compone de dos líneas optoacopladas, debe ser compatible con el implementado en la tarjeta de control del driver de tracción.

3.4.3 Unidad de dirección

3.4.3.1 Motorización

De la mecánica original de la dirección del vehículo se ha mantenido la cremallera y el reenvío, así como la junta cardan que une la cremallera a la columna de dirección. La columna de dirección y el volante han sido desmontados y sustituidos por la motorización que ahora genera el movimiento. Ésta ataca la cremallera a través del cardan original según se puede ver en la Figura 3.14. En la Figura se puede observar el montaje sobre el vehículo.

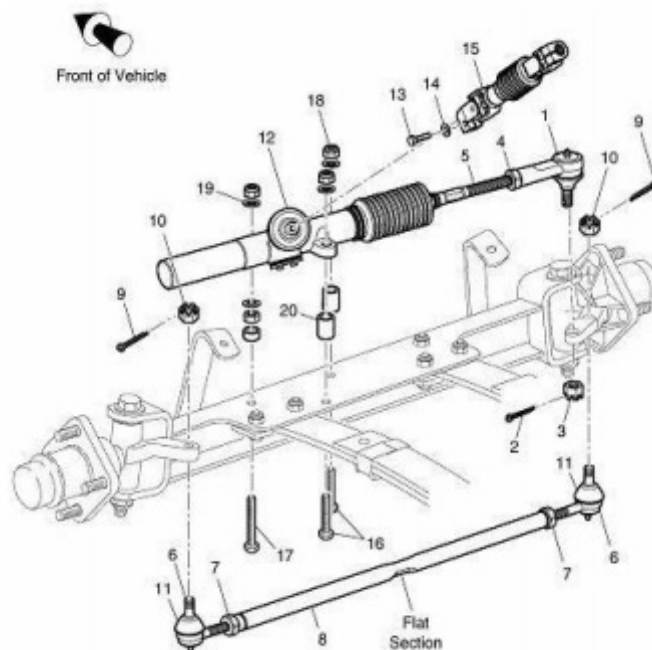


Figura 3.14: Cremallera de dirección, reenvío y cardan.

El movimiento lo genera un moto-reductor Parvalux PM60 LWS (LWS, 2007) que consume 210W y entrega a la salida de su reductora un par de 20 Nm con una velocidad de 60 r.p.m. Con esta velocidad y dado que la cremallera tiene un recorrido de 3.5 vueltas en su eje, el tiempo que tardan las ruedas en ir de extremo a extremo a velocidad máxima es de unos 3.5 s.

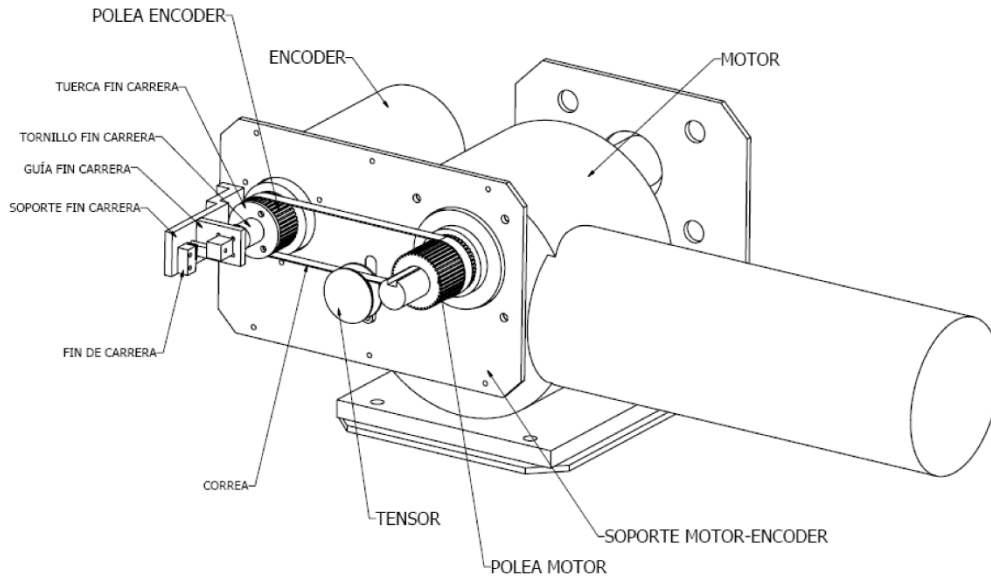


Figura 3.15: Motorización de la unidad de dirección.

Acoplado a la reductora, con una relación de transmisión 1:1, un encoder mide su posición y por tanto el ángulo de giro de las ruedas. El encoder es capaz de discriminar entre cuatro vueltas (la cremallera tiene una excursión de 3.5 vueltas), y resuelve con 1024 cuentas por vuelta. Se trata de un encoder absoluto Tekel TKM60.S.1024.4.B.5.K4.6.PL20.22.S200.E (TKM60, 2007) (TKM60S, 2007).

La reductora es de doble eje. Uno de ellos se utiliza para transmitir el movimiento a la cremallera de dirección a través del cardan, utilizando para ello una pieza de transición con un mecanizado compatible. El segundo eje es utilizado para acoplar mecánicamente el encoder por medio de una correa de precisión MXL 140 y dos poleas también dentadas de 44 dientes. El uso de la correa ofrece además la flexibilidad necesaria en el acoplamiento. Un tensor elimina las holguras, llevando a la correa al punto óptimo de tensión.



Figura 3.16: Ensamblaje motorización unidad de tracción – cardan.

Por último se ha implementado un mecanismo de finales de carrera en ambos sentidos mediante un sinfín que actúa sobre dos microinterruptores. Este mecanismo corta la excitación a la etapa de potencia del driver sin intervención del microcontrolador. Esto asegura no someter a estrés tanto mecánico como eléctrico a la cadena de transmisión en caso de una pérdida de control, bien por avería o durante las tareas de desarrollo del software. Los planos de los elementos fabricados se adjuntan como referencia.

3.4.3.2 Joystick

Al desaparecer el volante, el gobierno del vehículo en el Modo de Funcionamiento Manual se realiza mediante un joystick (Ver Figura 3.18). Durante el desarrollo de la Unidad de Dirección se ha comprobado que el conductor debe estar bien sentado y tener apoyado el brazo con el que gobierna este sistema. De estar en una posición incómoda o sin el brazo bien apoyado se pueden ejercer acciones no deseadas, debidas por ejemplo al bacheado del terreno. Para evitar este problema se ha fabricado un reposabrazos que sostente el joystick, y que está montado en el centro del asiento, de forma que se permita el acceso al puesto de conducción y al del acompañante.



Figura 3.17: Implantación de la motorización de la unidad de dirección en el vehículo.



Figura 3.18: Reposabrazos y joystick de la unidad de dirección.

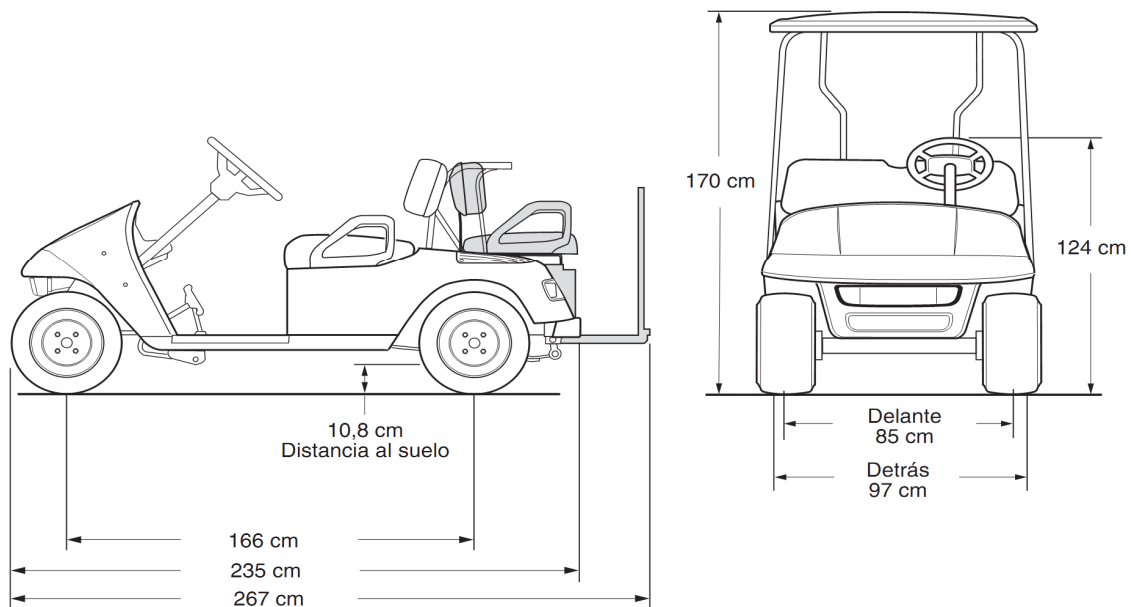
Capítulo 4: Estudio previo.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA ORIGINAL.

La plataforma utilizada sobre la que se realiza este proyecto es un vehículo eléctrico de la marca EZGO, modelo FREEDOM. Las características principales del vehículo se detallan a continuación.

4.1.1 Datos del fabricante.

En la Figura 4.1 se muestra el vehículo origen con sus dimensiones.



NOTA: La zona sombreada indica SHUTTLE 2+2

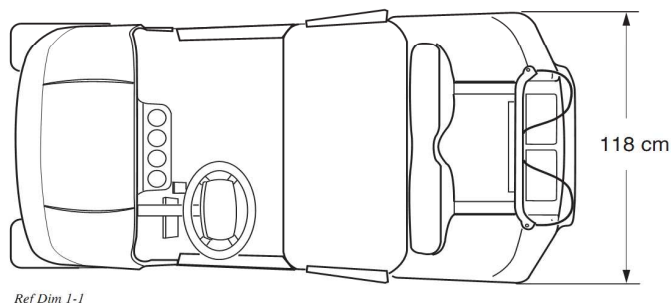


Figura 4.1: Vehículo eléctrico EZGO FREEDOM.

4.1.1.1 Motor.

La tracción del vehículo está basada en el motor eléctrico DE8-4001 de Advanced D.C. Motors Inc., este motor es un motor de corriente continua de excitación

independiente que funciona con una tensión de 36V y desarrolla una potencia de 1.9 KW a 2700 rpm (Ver Figura 4.2).

Los datos se pueden consultar en la Documentación del fabricante:

- 28645-G01: MANUAL DEL PROPIETARIO Y GUÍA DE SERVICIO. En el capítulo “General Specification”.
- 28789-G01: SERVICE PARTS MANUAL. En el capítulo “Motor”.

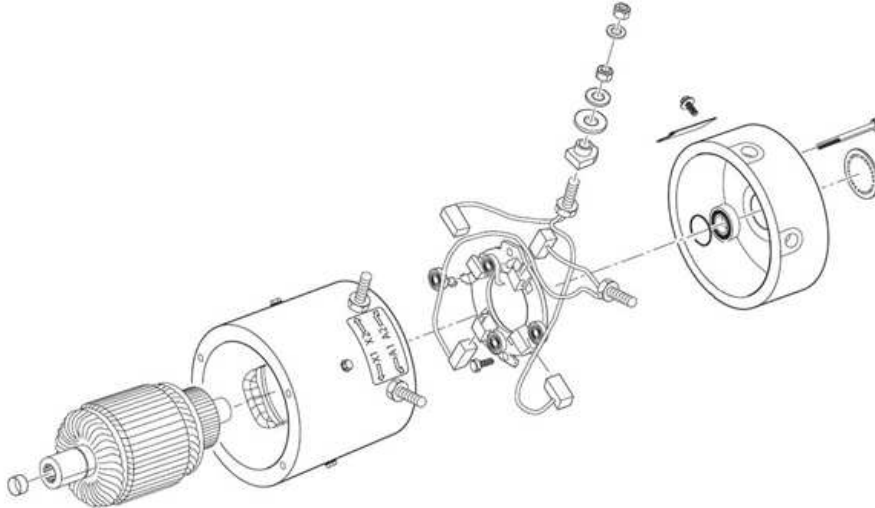


Figura 4.2: Motor del Vehículo.

4.1.1.2 Transmisión.

El motor está directamente acoplado a una reductora con diferencial que tiene una desmultiplicación de 12.44:1. La cadena de transmisión envía la tracción a unos neumáticos de 13” de diámetro (Ver Figura 4.3).

Los datos se pueden consultar en la Documentación del fabricante:

- 28645-G01: MANUAL DEL PROPIETARIO Y GUÍA DE SERVICIO. En el capítulo “General specification”.
- 28789-G01: SERVICE PARTS MANUAL. En el capítulo “Rear Axle”.

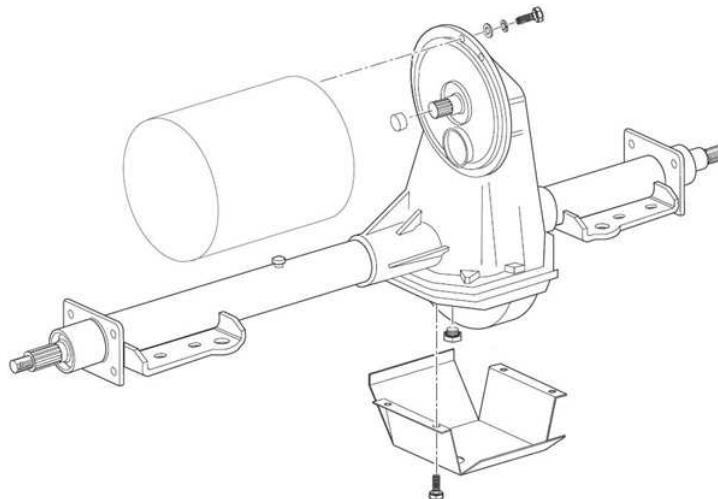


Figura 4.3: Transmisión del Vehículo.

4.1.1.3 Energía.

El sistema de almacenamiento de energía consta de seis (6) baterías de plomo de seis (6) Voltios cada una. Las células están montadas en serie proporcionando una tensión de treinta y seis (36) Voltios. Son capaces de entregar doscientos veinticinco (225) Amperios/hora con una tasa de descarga de veinte (20) horas (Ver Figura 4.4).

Los datos se pueden consultar en la Documentación del fabricante:

- 28645-G01: MANUAL DEL PROPIETARIO Y GUÍA DE SERVICIO. En el capítulo “General Specification”.
- 28789-G01: SERVICE PARTS MANUAL. En el capítulo “Electrical system - Common”.

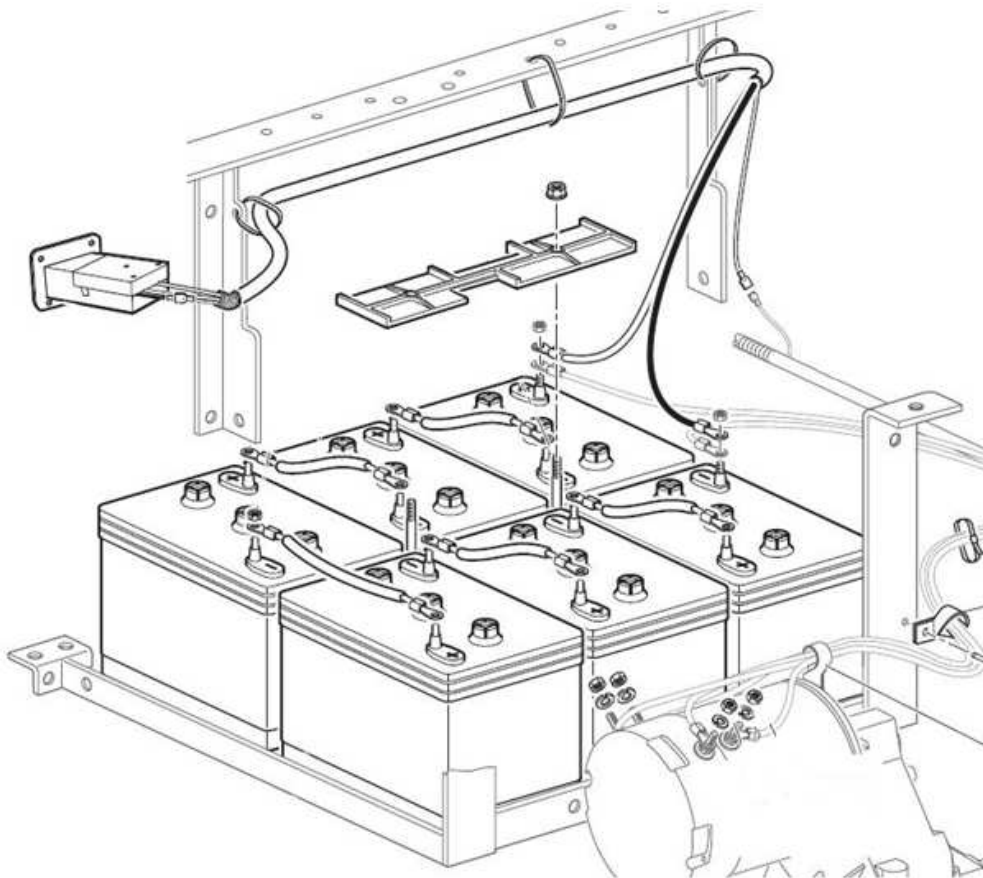


Figura 4.4: Energía del Vehículo.

4.1.1.4 Driver del Motor.

El coche dispone de un driver de potencia modelo MX1206 de Curtis. Es un driver de estado sólido capaz de entregar picos de trescientos (300) Amperios y que actúa en lazo abierto sobre el motor en función del desplazamiento del pedal del acelerador.

En base a unos interruptores conectados al driver, este es capaz de gobernar el motor en ambos sentidos, permitiendo además el frenado regenerativo (driver de cuatro cuadrantes).

Los datos se pueden consultar en la Documentación del fabricante:

- 28645-G01: MANUAL DEL PROPIETARIO Y GUÍA DE SERVICIO. En el capítulo “General specification”.
- 28789-G01: SERVICE PARTS MANUAL. En el capítulo “Electronic Speed Control”.

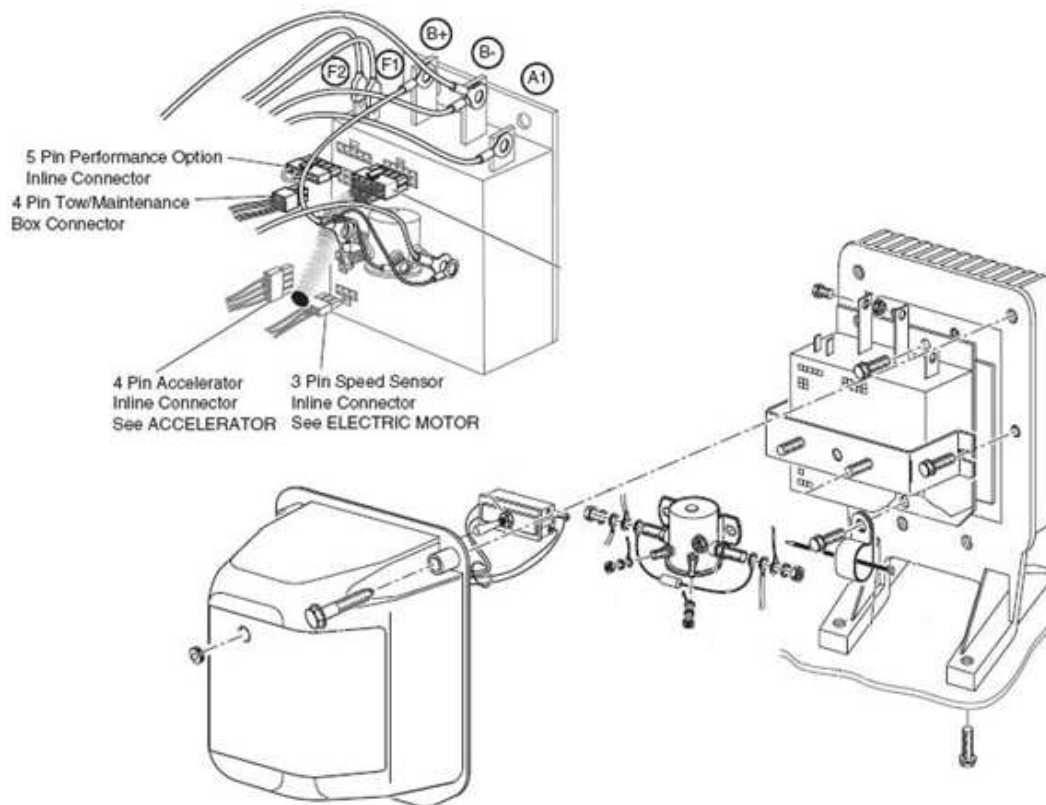


Figura 4.5: Driver del motor del Vehículo.

4.1.1.5 Acelerador.

Debe destacarse el modo en que el fabricante ha implementado el acelerador y que ha denominado Inductive Throttle Sensor (ITS). Se trata de un dispositivo magneto-resistivo sin contacto que alarga la vida del conjunto.

Los datos se pueden consultar en la Documentación del fabricante:

- 28645-G01: MANUAL DEL PROPIETARIO Y GUÍA DE SERVICIO. En el capítulo “General specification”.
- 28789-G01: SERVICE PARTS MANUAL. En el capítulo “Electronic Speed Control”.

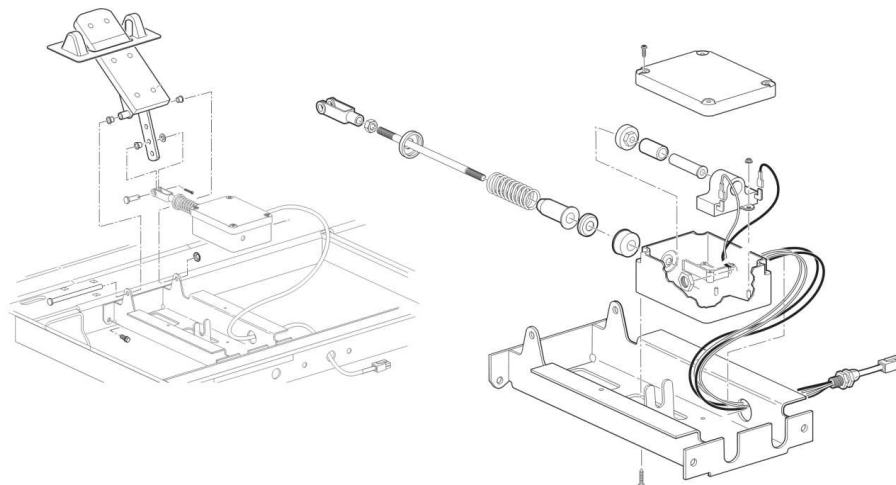


Figura 4.6: Acelerador del motor del Vehículo.

4.1.1.6 Sensor de velocidad.

El driver tiene una realimentación básica de velocidad que consiste en un sensor de efecto Hall que entrega 4 pulsos por vuelta de motor. Este sensor se emplea para:

- Limitar la velocidad máxima.
- Limitar la velocidad en pendiente sin acción sobre el acelerador.
- Producir un aviso acústico en caso de desplazamiento involuntario del vehículo.
- Limitar la corriente por el inducido del motor en caso de que el driver esté entregando potencia y no se produzca movimiento en el vehículo (vehículo bloqueado ó pendiente demasiado grande). Con esta acción se evita la destrucción de las escobillas y el colector del inducido.

Los datos se pueden consultar en la Documentación del fabricante:

- 28645-G01: MANUAL DEL PROPIETARIO Y GUÍA DE SERVICIO. En el capítulo “General specification”.
- 28789-G01: SERVICE PARTS MANUAL. En el capítulo “Motor”.

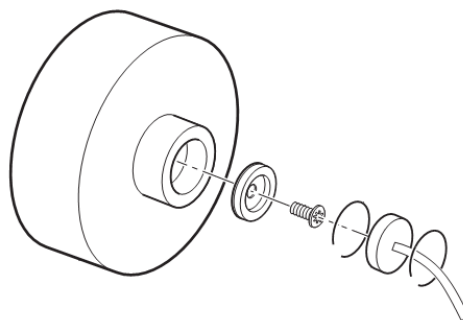


Figura 4.7: Sensor de velocidad del Vehículo.

4.1.1.7 Controles operativos e instrumentación.

El vehículo contiene unos controles e indicadores básicos para el usuario situados en el frontal del salpicadero (Ver Figura 4.8):

- Llave de contacto extraíble.
- Selector de sentido marcha adelante, marcha atrás.
- Indicador de estado de carga.
- Indicador sonoro o Beeper.

Además el usuario dispondrá sobre el driver un selector de funcionamiento/mantenimiento para cortar la corriente y permitir hacer tareas de mantenimiento situado bajo el asiento.

Los datos se pueden consultar en la Documentación del fabricante:

- 28645-G01: MANUAL DEL PROPIETARIO Y GUÍA DE SERVICIO. En el capítulo “General specification”.
- 28789-G01: SERVICE PARTS MANUAL. En el capítulo “Direction Selector”.

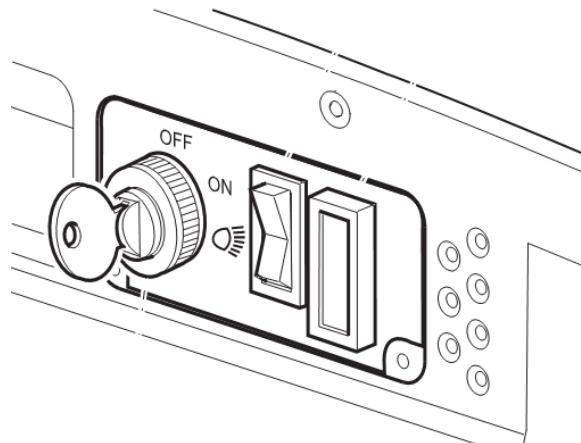


Figura 4.8: Controles operativos del Vehículo.

4.1.1.8 Cableado.

El circuito conduce la potencia de las baterías al controlador del motor (Curtis 1206MX), además está conectado a los sensores e interruptores anteriormente explicados (sensor de velocidad, acelerador, controles operativos e instrumentación) para gobernar el vehículo.

Los datos se pueden consultar en la Documentación del fabricante:

- 28789-G01: SERVICE PARTS MANUAL. En el capítulo “Electronic Speed Control”.

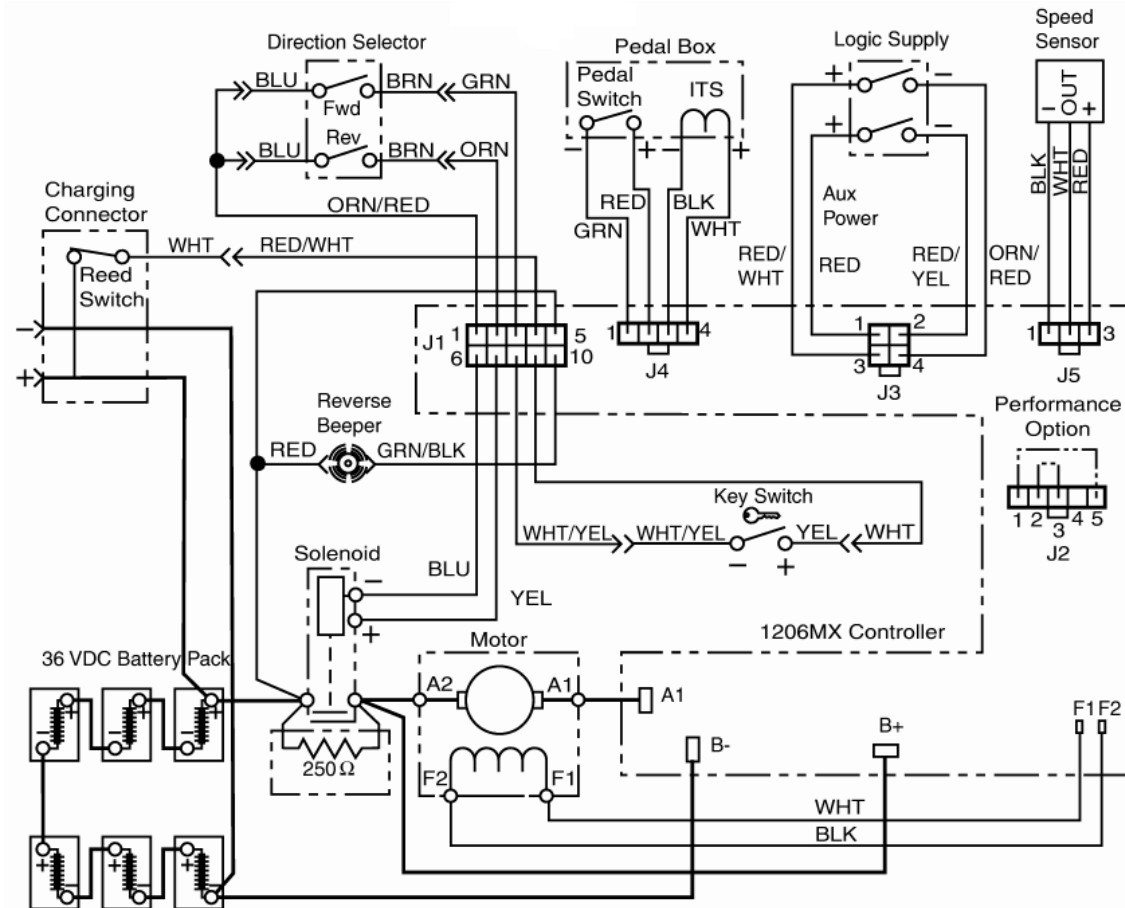


Figura 4.9: Cableado del Vehículo.

4.1.1.9 Dirección.

La dirección del vehículo que monta dispone de volante, barra de dirección, doble cruceta universal, atacando una dirección de cremallera de reducción simple que soporta a los neumáticos delanteros.

Los datos se pueden consultar en la Documentación del fabricante:

- 28645-G01: MANUAL DEL PROPIETARIO Y GUÍA DE SERVICIO. En el capítulo "General specification".
- 28789-G01: SERVICE PARTS MANUAL. En el capítulo "Motor".

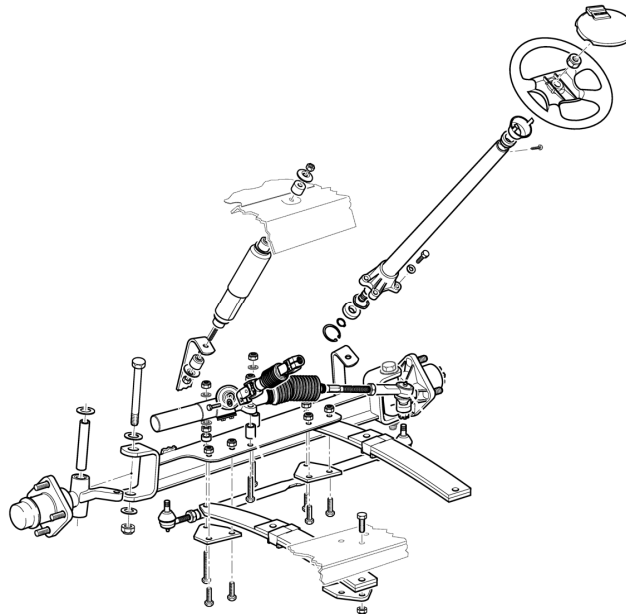


Figura 4.10: Dirección del Vehículo.

4.1.1.10 Freno.

Las ruedas traseras disponen de frenos tipo tambor, que son operados de forma desasistida desde el pedal de freno, que dispone además de un enclavamiento que hace las funciones de freno de estacionamiento.

Los datos se pueden consultar en la Documentación del fabricante:

- 28645-G01: MANUAL DEL PROPIETARIO Y GUÍA DE SERVICIO. En el capítulo "General specification".
- 28789-G01: SERVICE PARTS MANUAL. En el capítulo "Brakes".

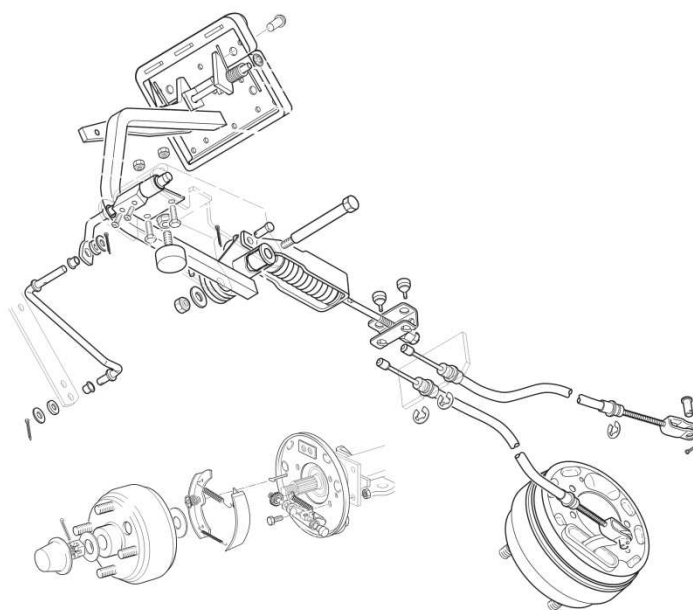


Figura 4.11: Freno del Vehículo.

4.2 ANALISIS SOBRE EL CONTROL DE LA TRACCIÓN.

Se ha considerado de gran importancia este bloque incluso mayor que el relativo al control del giro, ya que como puede apreciarse en la Figura 4.9 es el núcleo del vehículo origen, se exponen seguidamente los estudios realizados sobre el mismo.

4.2.1 Estudio del sensor de velocidad.

Como se ha descrito en el apartado “4.1.1.6. Sensor de Velocidad”, el sistema de medida de velocidad consiste en un sensor que entrega cuatro (4) pulsos por vuelta del motor.

Este sensor tiene una resolución suficiente para cuando el vehículo está en Funcionamiento en Modo Manual (FMM), pero no es apropiado para realimentar el controlador en Funcionamiento en Modo Automático (FMA) debido a la falta de resolución, sobre todo a bajas velocidades.

Por ejemplo, a una velocidad de 20 Km/h el sensor entrega una señal cuadrada de aproximadamente de 270 Hz, es decir, un pulso cada 3.7 ms, lo que podría ser suficiente para un sistema realimentado, ya que la velocidad de muestreo podría ser de este orden en sistemas con constantes de tiempo muy grandes. El problema surge a velocidades pequeñas, a 0.2 Km/h el sensor tardaría 0.7 s en entregar información de velocidad, lo que impediría un funcionamiento correcto del sistema.

4.2.2 Estudio del driver del motor.

La única información que se ha podido encontrar del driver CURTIS 1206MX, figura en el documento: “*Factory PDS Speed Controller Diagram*”. Apoyándonos en este documento, se ha desmontado el driver, identificado los circuitos, su funcionamiento, para utilizar todos estos conocimientos para la modificación del driver y conseguir un control adecuado (Ver Figura 4.12).



Figura 4.12: Driver de control.

Según se deduce de la documentación del fabricante y como muestra la Figura 4.13, el driver dispone de los siguientes conectores:

- **A1, B+, B-, F1 y F2** proporciona la alimentación de las baterías al driver y al motor.
- **J1** suministra la mayor parte de la información requerida por el controlador para diagnosticar los fallos, llegándole información de: Selector de Dirección, Solenoide, Beeper.
- **J2** proporciona la configuración del Beeper, en varias opciones: Freedom, Steep Hill, Mild Hill, All Terrain.
- **J3** detecta la posición del interruptor de Mantenimiento/Remolque y controla la lógica que proporciona al controlador.
- **J4** recibe información del acelerador, del interruptor de pedal pulsado y del ITS.
- **J5** recibe información de sensor de velocidad: RPM y Situación de parado.

Como se puede ver el driver esta dividido e dos bloques unidos por una tira de pines P1:

- Modulo de control
- Modulo de potencia



4.2.2.1 Módulo de Potencia.

Este dispone de una etapa de potencia clásica de un control de motor DC con excitación independiente, control mediante Puente en H. Los problemas de desarrollo de la etapa de potencia descritos anteriormente estarían lógicamente resueltos (Ver Figura 4.14).

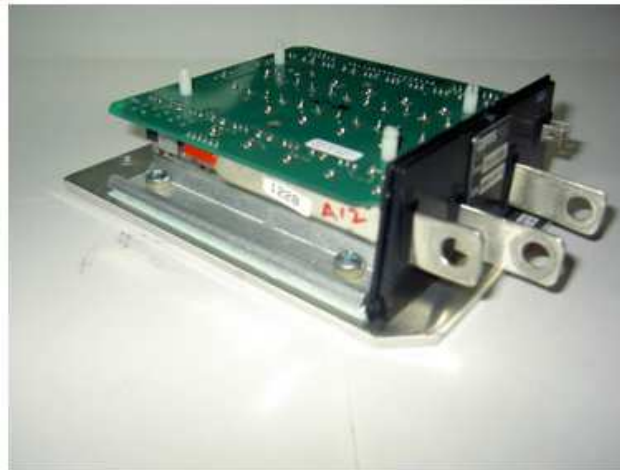


Figura 4.14: Módulo de Potencia.

En el siguiente plano se puede ver el circuito levantado (Ver Figura 4.15).

4.2.2.1.1 Listado de material del Módulo de Potencia.

En la Tabla 4.1 se listan los componentes del Módulo de Potencia.

| Referencia | Valor | Notas |
|-------------------------|--------------------|--|
| C1 – C2 | 100nF | |
| C3 – C14 | 1000 μ F / 50V | |
| D1, D3 – D8 | DR4148R | |
| D9 | MR751 | |
| PS1 – PS2 | SF60X300 | Fusible de 60 voltios 300 amperios. |
| Q7 – Q10 | IRFIZ48V | |
| Q11 – Q14, Q18 – Q22 | IRFZ48V | |
| R2 | 5 x 47ohm | Array de 5 resistencias con punto común. |
| R8 | 4 x 47ohm | Array de 4 resistencias individuales. |
| R15 | 5 x 47ohm | Array de 5 resistencias con punto común. |
| TH1 – TH2 | | Termositor. |

Tabla 4.1: Materiales del Módulo de Potencia.

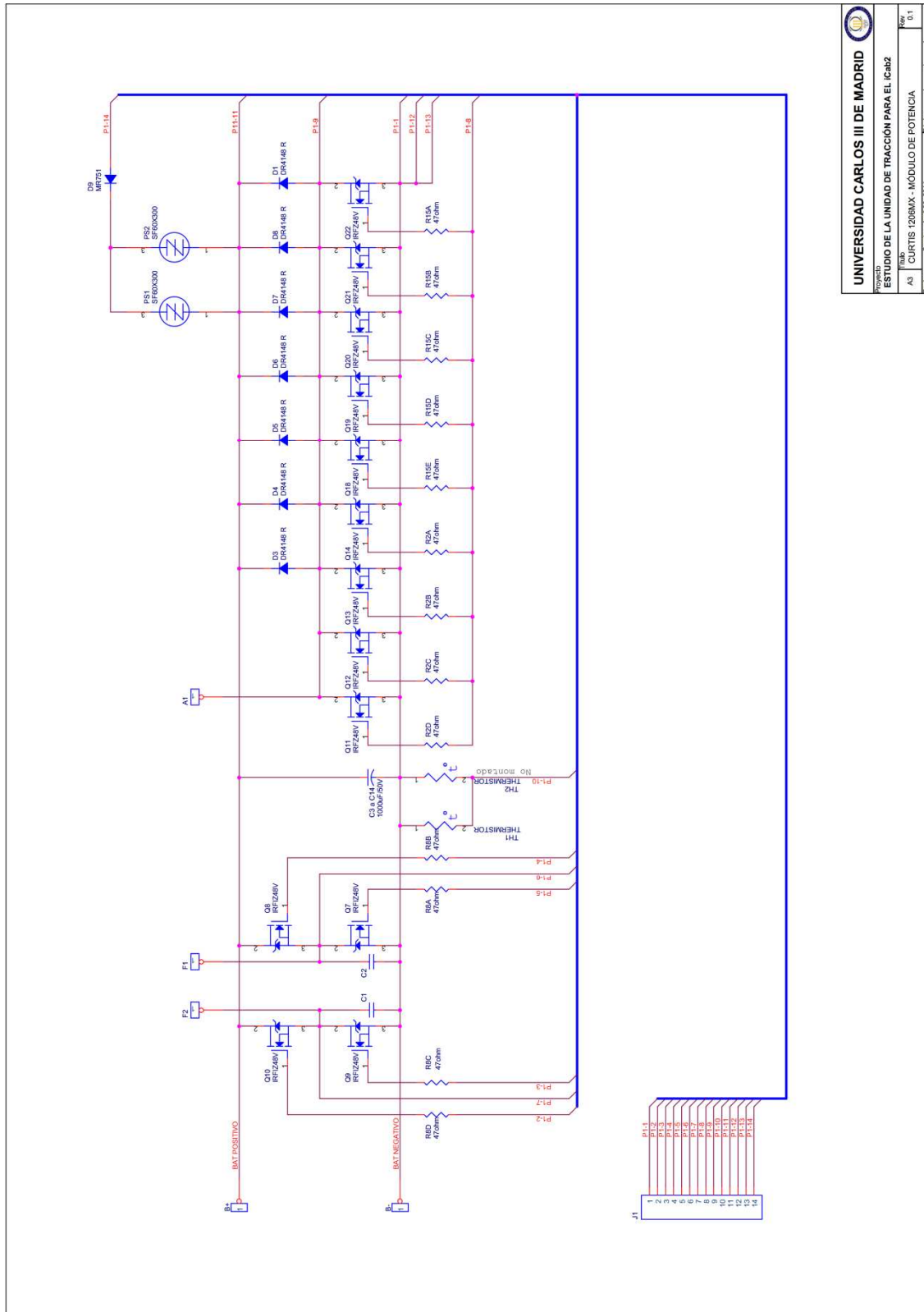


Figura 4.15: Módulo de Potencia.

| | |
|----------------------------------|--|
| UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID | |
| Proyecto | ESTUDIO DE LA UNIDAD DE TRACCIÓN PARA EL iCab2 |
| Alumno | AI CURTIS 1200MX - MÓDULO DE POTENCIA |
| Fecha | Septiembre 2011 |
| Página | 1 de 1 |

4.2.2.2 Módulo de Control.

El Módulo de Potencia está gobernado por el Módulo de Control mediante un microcontrolador PIC16C73A de Microchip, del que existe abundante documentación. Conociendo la funcionalidad de cada uno de los pines se ha realizado una primera aproximación de la forma en que funciona (Ver Figura 4.16).

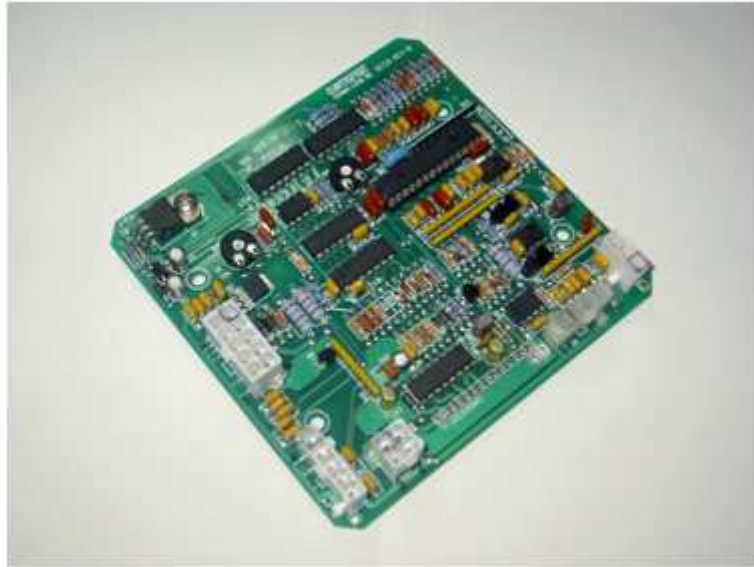


Figura 4.16: Módulo de Control.

A modo de información general, el PIC16C73 es un microcontrolador de ocho (8) bits y veintiocho (28) pines, con cuatro (4) Kb de memoria de programa y ciento noventa y dos (192) bytes de datos, tres (3) timers, dos (2) módulos CCP (Capture/Compare/PWM), puerto serie y convertidores A/D, siendo su frecuencia de reloj de 4 MHz.

El Módulo de Control se puede subdividir en 6 submódulos:

- **Módulo de Control, MC1:** Entradas y salidas del circuito del driver con sus filtros. (Ver Figura 4.17)
- **Módulo de Control, MC2 y MC3:** Circuitos conformadores para el microcontrolador de señales varias. (Ver Figura 4.18 y 4.19)
- **Módulo de Control, MC4:** Circuito de control de la armadura. (Ver Figura 4.20)
- **Módulo de Control, MC5:** Circuito de control del campo. (Ver Figura 4.21)
- **Módulo de Control, MC6:** Microcontrolador. (Ver Figura 4.22)

A continuación se muestra en detalle cada uno de ellos:

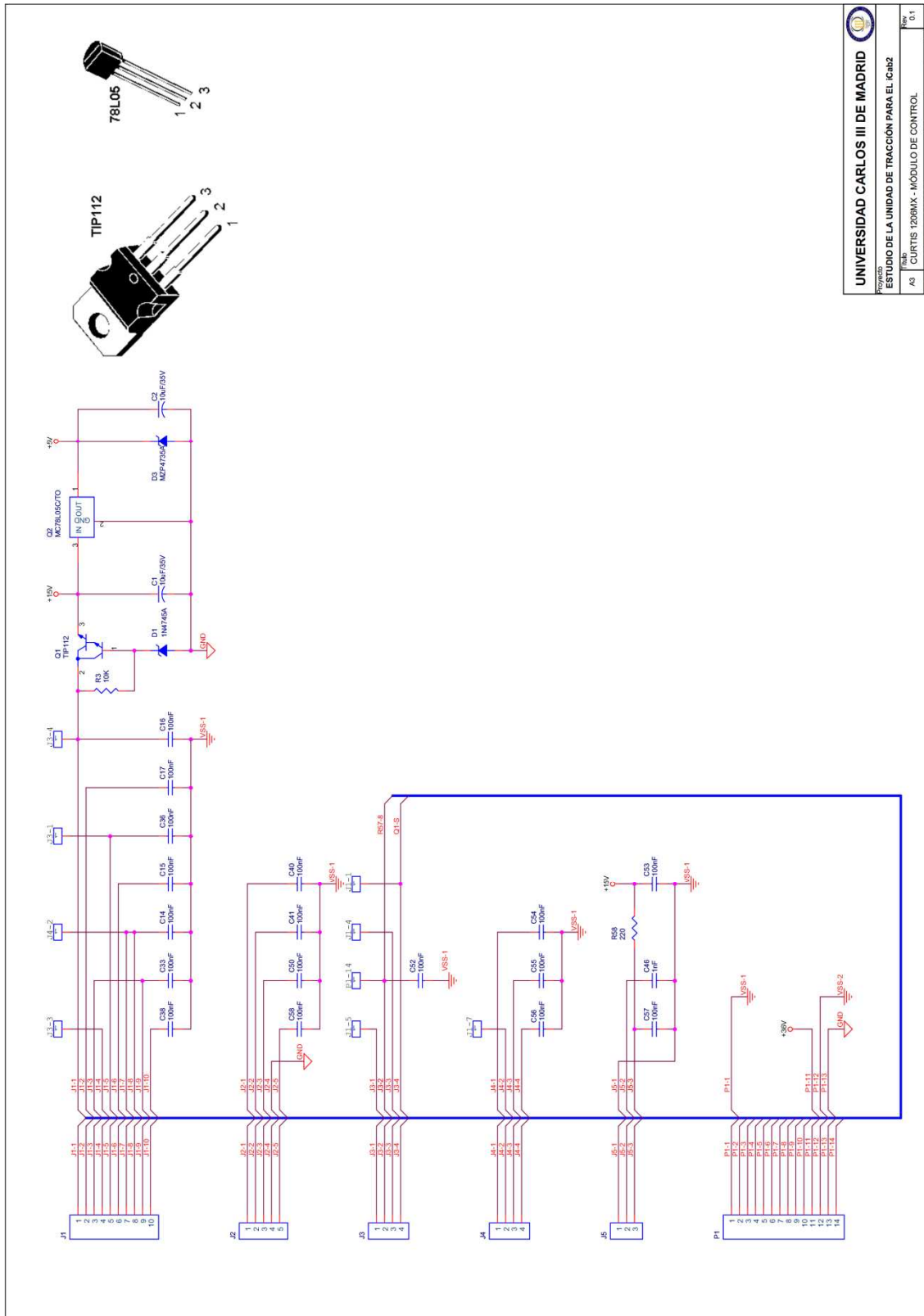
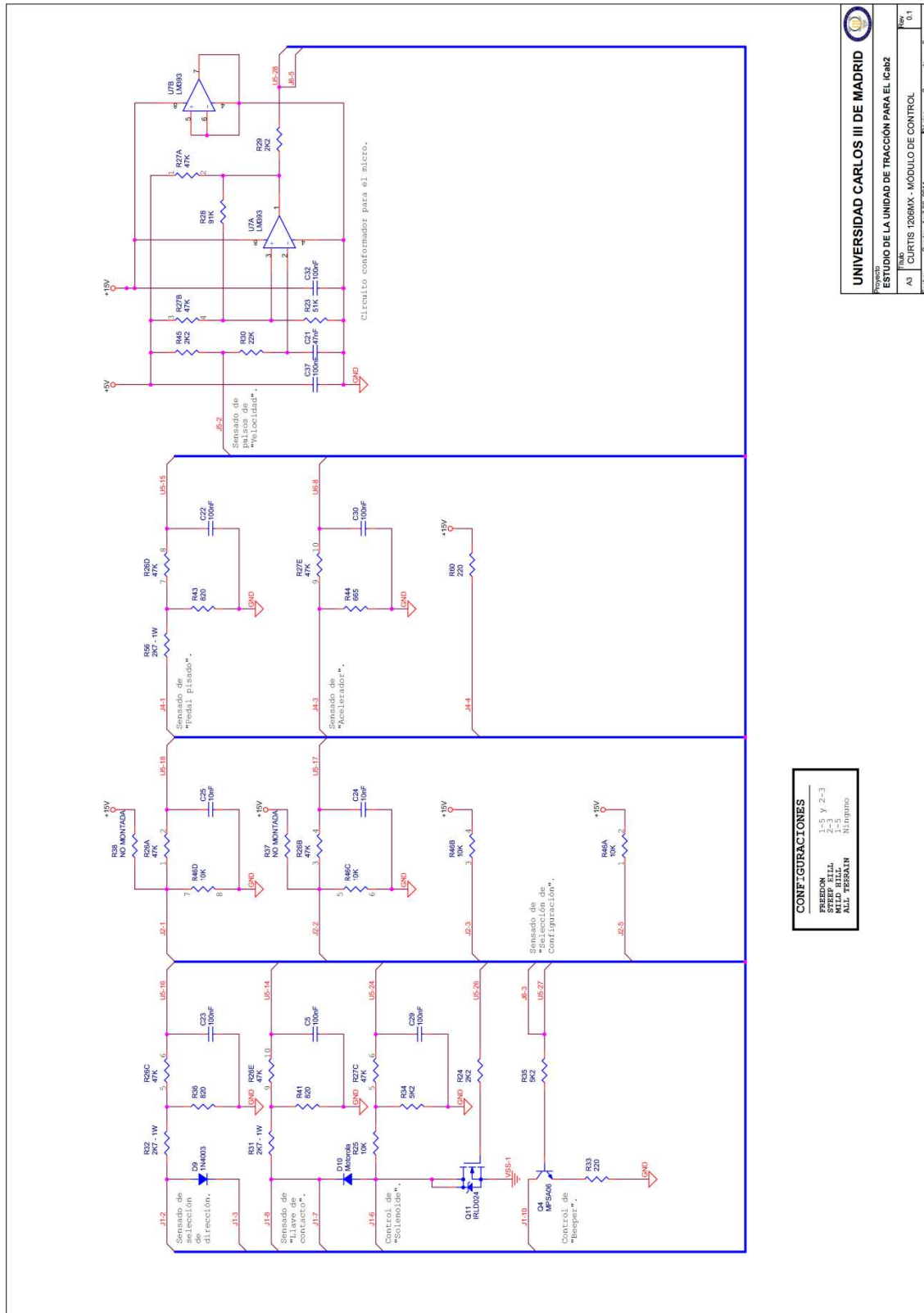
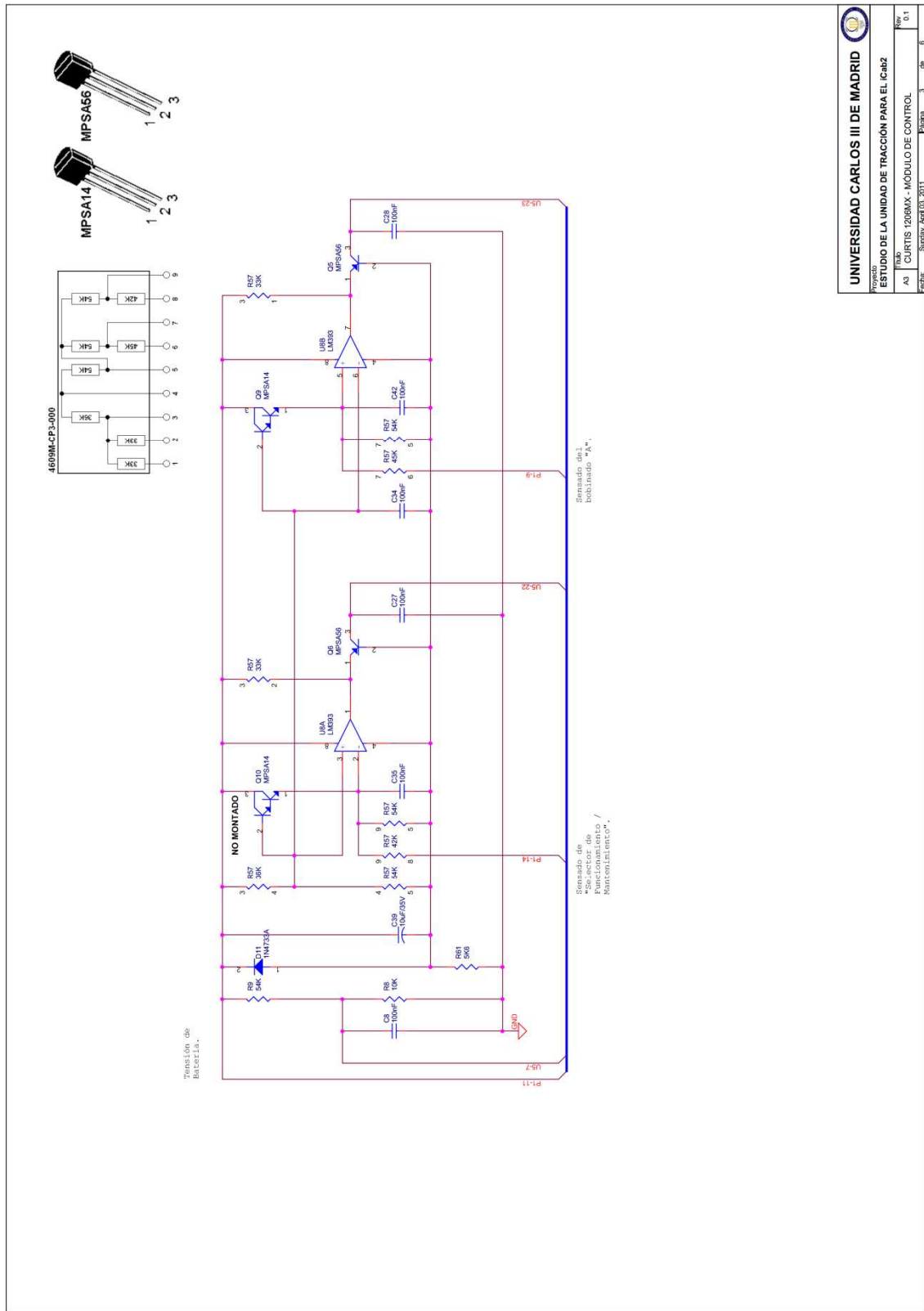
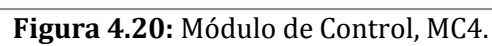


Figura 4.17: Módulo de Control, MC1.







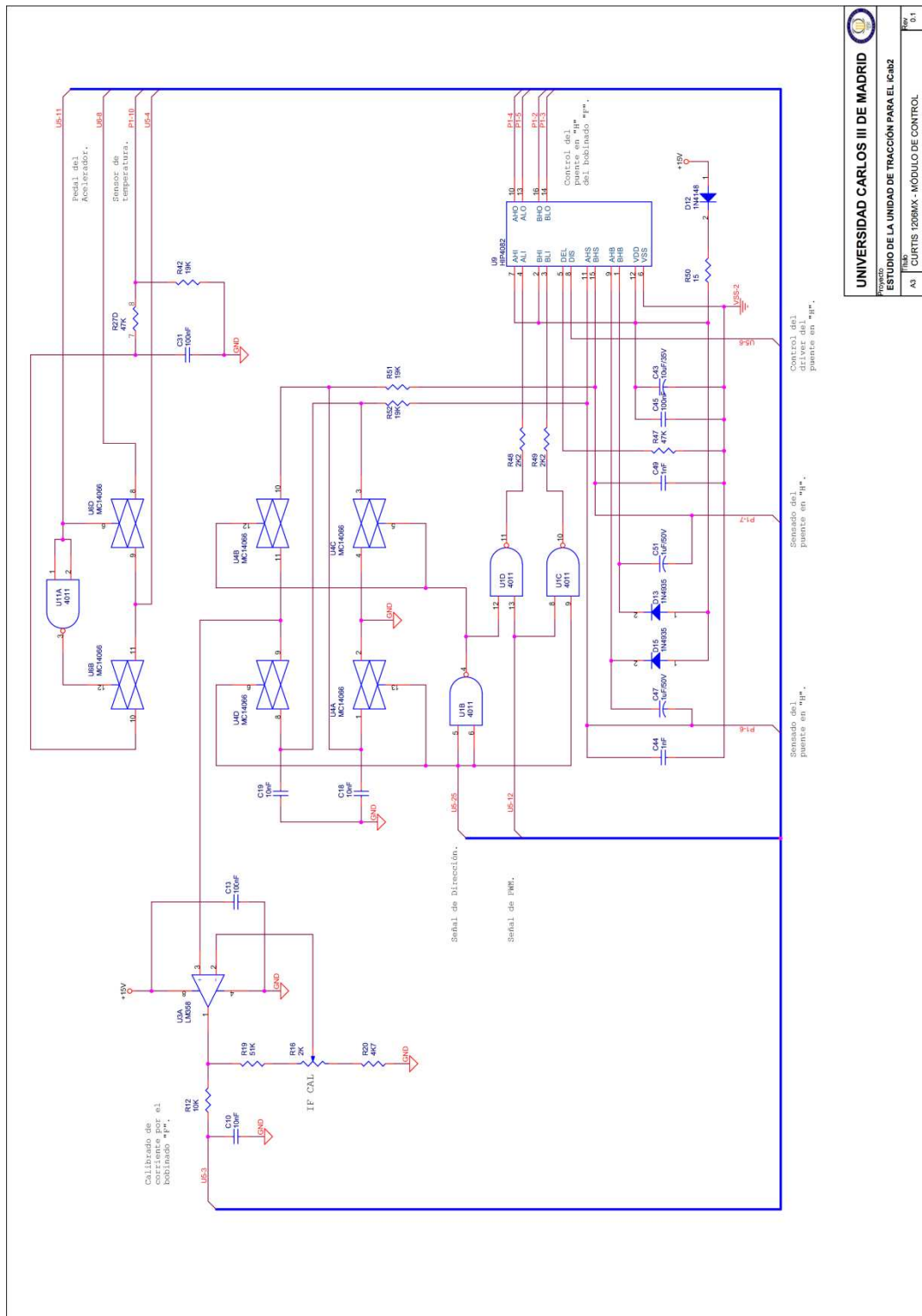
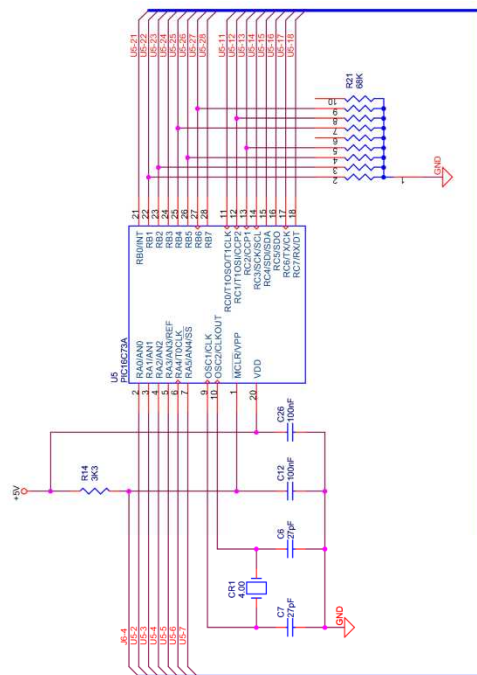



Figura 4.21: Módulo de Control, MC5.




UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
 Proyecto: **ESTUDIO DE LA UNIDAD DE TRACCIÓN PARA EL ICab2**
 Tema: **A3 CURTIS 1206MX - MÓDULO DE CONTROL**
 Fecha: **Sunday, April 03, 2011**

| | | | |
|--------|---|----|---|
| Hoja | 6 | de | 6 |
| Página | 6 | de | 6 |

4.2.2.2.1 Listado de material del Módulo de Control.

En la Tabla 4.2 se listan los componentes del Módulo de Control.

| Referencia | Valor | Notas |
|---|------------------|---------------------|
| C1 – C2, C39, C43, C48 | 10 μ F / 35V | |
| C3 – C4, C10 – C11, C18 – C19, C24 – C25 | 10nF | |
| C5, C8 – C9, C12 – C17, C22 – C23, C26 – C38, C40 – C42, C45, C50, C52 – C59 | 100nF | |
| C6 – C7 | 27pF | |
| C21 | 47nF | |
| C44, C46, C49 | 1nF | |
| C47, C51 | 1 μ F / 35V | |
| CR1 | 4.00G | Cristal de 4MHz. |
| D1, D6 – D10 | 1N4547A | |
| D2, D14 | 1N4148 | |
| D3 | MZP4735A | |
| D4 | MOTOROLA | Diodo Motorola. |
| D5 | 1N4003 | |
| D11 | 1N4733A | Diodo tener de 5V1. |
| D12 – D13, D15 | 1N4935 | |
| Q1 | TIP112 | Encapsulado TO-220. |
| Q2 | MC78L05C/TO | Regulador de 5V. |
| Q4 | MPSA06 | |
| Q5 – Q6 | MPSA56 | |
| Q7 | 2N4401 | |
| Q8 | LND150 | |
| Q9 | MPSA14 | |
| Q10 | MPSA14 | No montado. |
| Q11 | IRLD024 | |
| R1, R44 | 665 – 1/4W | |
| R2 – R3, R5 – R8, R12 – R13, R25 | 10K – 1/4W | |
| R4, R47 | 47K – 1/4W | |
| R9 | 54K – 1/4W | |
| R10 | 64K – 1/4W | |
| R11, R42, R51 – R52 | 19K – 1/4W | |
| R14 | 3K3 – 1/4W | |
| R15 – R16 | 2K – 1/2W | Potenciómetro. |
| R17 | 42K – 1/4W | |

Tabla 4.2: Materiales del Módulo de Control.

| Referencia | Valor | Notas |
|-------------------------------|-------------|--|
| R18, R34 - R35 | 5K2 - 1/4W | |
| R19, R23 | 51K - 1/4W | |
| R20 | 4K7 - 1/4W | |
| R21 | 9 x 68K | Array de 9 resistencias con punto común. |
| R22 | 220K - 1/4W | |
| R24, R29, R45, R48 - R49, R53 | 2K2 - 1/4W | |
| R26 - R27 | 5 x 47K | Array de 5 resistencias individuales. |
| R28 | 91K - 1/4W | |
| R30 | 22K - 1/4W | |
| R31 - R32, R56 | 2K7 - 2W | |
| R33, R58, R60 | 220 - 1/4W | |
| R36, R41, R43 | 820 - 1/4W | |
| R37 - R38 | | No montada. |
| R39 | 430 - 1/4W | |
| R40 | 30K - 1/4W | |
| R46 | 4 x 10K | Array de 4 resistencias individuales. |
| R50, R54 | 15 - 1/4W | |
| R55 | 100 - 1/4W | |
| R57 | | Array Custom. |
| R59 | 58K - 1/4W | |
| R61 | 5K6 - 1/4W | |
| U1, U11 | 4011 | Puertas lógicas NAND. |
| U2 | LM339 | Comparador diferencial de tensión. |
| U3 | LM358 | Amplificador operacional. |
| U4, U6 | MC140666 | Multiplexor analógico. |
| U5 | PIC16C73A | Microcontrolador. |
| U7 - U8 | LM393 | Comparador diferencial de tensión. |
| U9 | HIP4082 | Driver de control del Puente en H. |
| U10 | TC1411N | Conductor MOSFET de alta velocidad. |

Tabla 4.2: Materiales del Módulo de Control.

4.2.2.2.2 Listado de pines del microcontrolador.

En la Tabla 4.3 se muestran los estudios realizados sobre los pines del microcontrolador y a las señales que llevan asociadas indicando su configuración, si son de Alimentación (A), Entrada (E), Salida (S) o Bidireccionales (B).

| Pin | | Plano | Cfg | Descripción | Nombre/Señal |
|-----|-----------------------|-------|-----|---|--------------|
| 1 | /MCLR-V _{pp} | MC-6 | B | Bidireccional. Pin de programación. | PROG |
| 2 | RA0-AN0 | MC-5 | E | Entrada Analógica. Sensado de la corriente de armadura. Salida del circuito IA CAL. | SEN IA CAL |
| 3 | RA1-AN1 | MC-4 | E | Entrada Analógica. Sensado de corriente de campo. Salida de circuito IF CAL. | SEN IF CAL |

Tabla 4.3: Pines del microcontrolador del Driver.

| | Pin | Plano | Cfg | Descripción | Nombre/Señal |
|----|------------------------------|-------|-----|---|------------------|
| 4 | RA2-AN2 | MC-5 | E | Entrada Analógica. Sensado de Temperatura o Acelerador. | SEN TEMP/ACE |
| 5 | RA3-AN3- V _{REF} | MC-4 | E | Entrada Analógica. Tensión de referencia del CAD. | V _{REF} |
| 6 | RA4-T0CLK | MC-5 | S | Salida Digital. Deshabilitar el driver del puente en H. Bajo: "Habilita". Alto: "Deshabilita". | MIC PUENTEH |
| 7 | RA5-AN4- /SS | MC-3 | E | Entrada Analógica. Sensado de tensión de batería. Bajo: "Tensión Baja". Alto: "Tensión Correcta". Analógica: 0V-0% 5V-100%. | SEN BATERIA |
| 8 | V _{SS} | --- | A | Alimentación del microcontrolador (0V). | GND |
| 9 | OSC1-CLK | MC-6 | E | Oscilador. | --- |
| 10 | OSC2- OUTCLK | MC-6 | E | Oscilador. | --- |
| 11 | RC0- T1OSO- T1CLK | MC-5 | S | Salida Digital. Selección de entrada de temperatura o acelerador. Bajo: "Selecciona Entrada de Acelerador". Alto: "Selecciona Entrada de Temperatura". | SEL TEMP/ACE |
| 12 | RC1-T1OSI- CCP2 | MC-5 | S | Salida Digital. PWM del bobinado de campo. | PWM CAMPO |
| 13 | RC2-CCP1 | MC-5 | S | Salida Digital. PWM del bobinado de armadura. | PWM ARMADURA |
| 14 | RC3-SCL- SCL | MC-2 | E | Entrada Digital. Sensado de la llave de contactor. Bajo: "Llave de contacto no girada". Alto: "Llave de contacto girada". | SEN LLVCTT |
| 15 | RC4-SDI- SDA | MC-2 | E | Entrada Digital. Sensado de pedal de acelerador. Bajo: "Pedal de acelerador no pisado". Alto: "Pedal de acelerador pisado". | SEN SWACE |
| 16 | RC5-SD0 | MC-2 | E | Salida Digital. Sensado de la selección de sentido de marcha. Bajo: "Selector de sentido en posición FF". Alto: "Selector de sentido en posición RW". | SEN SENTIDO |
| 17 | RC6-TX-CK | | E | Configuration del Beeper: 00: "All Terrain". 01: "Mild Hill". | --- |
| 18 | RC7-TX-DT | | E | 10: "Steep Hill". 11: "Freedom". | --- |

Tabla 4.3: Pines del microcontrolador del Driver.

| | Pin | Plano | Cfg | Descripción | Nombre/Señal |
|----|-----------------|-------|-----|--|---------------|
| 19 | V _{SS} | --- | A | Alimentación del microcontrolador (0V). | GND |
| 20 | V _{DD} | --- | A | Alimentación del microcontrolador (5V). | --- |
| 21 | RB0-INT | | E | Entrada Analógica. Sensado de Corriente de Armadura. | SEN ARMADURA |
| 22 | RB1 | | E | Entrada Analógica. Sensado de Selector Funcionamiento / Mantenimiento. | SEN FUN/MAN |
| 23 | RB2 | | E | Entrada Analógica. Sensado de Corriente de Campo. | SEN CAMPO |
| 24 | RB3 | MC-2 | E | Entrada Digital. Sensado de estado del solenoide. Bajo: "Solenoide activado". Alto: "Solenoide no activado". | SEN SOLENOIDE |
| 25 | RB4 | MC-5 | S | Salida digital. Selección de sentido de marcha. Bajo: "Sentido de la marcha RW". Alto: "Sentido de la marcha FF". | SEL SENTIDO |
| 26 | RB5 | MC-2 | S | Salida Digital. Control del Solenoide. Bajo: "Solenoide cerrado". Alto: Solenoide abierto. | ACT SOLENOIDE |
| 27 | RB6 | MC-2 | S | Salida Digital. Control del Beeper. Bajo: "Apagado, no suena". Alto: "Encendido, suena". | ACT BEEPER |
| 28 | RB7 | MC-2 | E | Entrada Analógica. Sensado de velocidad. | SEN VELOCIDAD |

Tabla 4.3: Pines del microcontrolador del Driver.

El esfuerzo realizado para estudiar el driver ha sido importante, gracias a ello en estos momentos se dispone de la información necesaria para identificar y analizar los circuitos.

4.3 MODIFICACIONES NECESARIAS.

Tras el estudio del sistema de tracción original del vehículo se identifican las siguientes deficiencias, y por tanto las acciones de mejoras necesarias:

- El driver original opera sobre el motor en lazo abierto. Con el fin de garantizar que se cumplan las consignas de velocidad dadas desde el Ordenador de Control y de rechazar las perturbaciones propias del terreno y de la carga del vehículo, es necesario actuar sobre el motor en lazo cerrado, utilizando un regulador que anule el error en régimen permanente.

- Para realizar un control en lazo cerrado, un captador de velocidad de 4 pulsos por vuelta es claramente insuficiente, por lo que es necesario sustituirlo por uno de mayor resolución.
- El driver obedece únicamente al acelerador, no dispone de buses ni entradas de control que puedan proporcionarle consignas de velocidad, por lo que será necesario modificarlo o sustituirlo por otro que sí disponga de estas capacidades.
- El freno es mecánico y no dispone de ningún automatismo que permita, en el Modo de Funcionamiento Automático, controlarlo desde la electrónica de control.

Para subsanar estas deficiencias se han buscado soluciones comerciales para la modificación de la Unidad de Tracción, llegando a las siguientes conclusiones:

- Se ha intentado encontrar sin éxito un driver para aplicaciones de tracción eléctrica que sea compatible y que disponga de una entrada de control. Sólo se han encontrado algunas que disponen de un puerto serie para su configuración, pero que no puede ser usado para el control en tiempo real.
- Se han encontrado multitud de drivers con entradas de control adecuadas, pero que requieren altas tensiones para su alimentación, lo que obligaría a añadir un convertidor DC-DC, un ondulator, o ambos, entre las baterías y el driver. Por otra parte, estos drivers están diseñados para motores con otras configuraciones y que operan a tensiones más elevadas, lo que obligaría a sustituir también el motor, siendo ésta una acción de gran complejidad mecánica ya que el motor actual está integrado en el diferencial. A todos estos problemas habría que añadir también el alto coste de la solución.

Con lo expuesto anteriormente se decide la siguiente solución:

- Se mantiene el motor original.
- Se sustituye el encoder original por uno de mayor resolución.
- Se acomete el desarrollo de un nuevo driver, empleando entre otros, los conocimientos adquiridos del estudio del original. Algunos elementos hardware se pueden reutilizar, como por ejemplo la etapa de potencia. El nuevo driver, basado en un microcontrolador, ha de implementar las funciones del original y las nuevas que se necesitan para esta aplicación. Para realizar el nuevo driver se ha optado por modificar la etapa de control, en vez de diseñar una nueva etapa que contenga las características útiles de la original más las nuevas a desarrollar, ya que esta segunda opción requeriría un mayor esfuerzo con un alto nivel de diseño.
- Se dota al freno de un servomecanismo para que pueda ser controlado por la electrónica de la Unidad de Tracción. El desarrollo de la mecánica y la electrónica caen fuera del alcance de este trabajo, sin embargo se



implementa el hardware y el software de control necesarios en la Unidad de Tracción.

Capítulo 5: Diseño y estudio de la Unidad de Tracción.

Tras el análisis se decidió que el modo de abordar su desarrollo partiendo del driver original, modificando y añadiendo los dispositivos que fuesen necesarios. En un primer diseño se estudió implementar una nueva etapa de control dentro de la unidad, que abarcara todos los objetivos, pero se puso de manifiesto que la complejidad del diseño necesario para rehacer el driver por completo era excesiva para este proyecto.

El driver disponía originalmente de un microcontrolador, el PIC16C73A, para su funcionamiento. Tras el estudio previo realizado era evidente que con él no se podrían conseguir todos los requisitos que se habían planteado. Como además se pretendía utilizar, en la medida de lo posible, todos los dispositivos que montaba el driver, la solución fue desmontar ese microcontrolador y desarrollar un circuito que permitiese su conexión al resto del driver a través del zócalo del microcontrolador retirado.

Esto obligó a realizar un diseño especial para que pudiera ser montado sobre el resto del driver existente utilizando sus fijaciones y evitando conflictos con los conectores de que dispone así como con el resto de sus dispositivos (Ver Figura 5.1).



Figura 5.1: Diseño de la Unidad de la Tracción.

5.1 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL.

En la Figura 5.2 se muestra el Esquema de Bloques de la Unidad de Tracción y sus tres grandes bloques. En la parte superior se muestra el desarrollo propiamente realizado, en la parte inferior izquierda el driver original del vehículo, estudiado en el punto anterior y en la parte inferior derecha la propuesta de desarrollo del control del freno, que no se implementara en este proyecto.

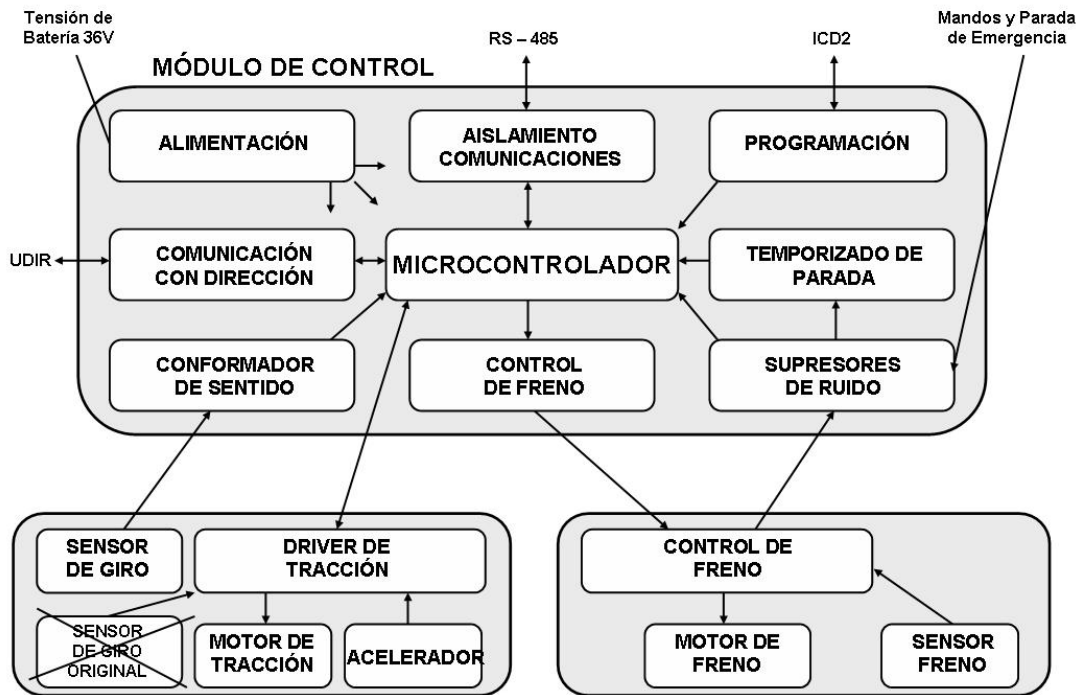
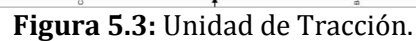
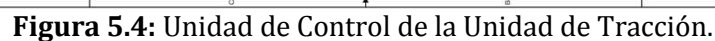


Figura 5.2: Esquema de bloques de la Unidad de Tracción.

En la Figura 5.3 podemos ver la Unidad de Tracción completa, como se explica en el esquema de de bloques de arriba, diferenciando sus partes.

En la Figura 5.4 se muestra el Módulo de Control de Tracción que es el centro de estudio y desarrollo de este proyecto.





Los circuitos que componen el Módulo de Control son los siguientes:

- **Alimentación** (Ver Figura 5.5). Es el circuito que genera las tensiones de alimentación que necesita el Módulo partiendo de la tensión de batería de 36 voltios. Está formado en un primer paso por un convertidor DC-DC (U9) del que se obtienen 12 voltios y en un segundo paso por un regulador lineal (U6) del que se obtienen 5 voltios. Durante el desarrollo se comprobó que con la tensión de 5 voltios era suficiente para la alimentación de todos los circuitos del Módulo, por lo que se sustituyó el convertidor DC-DC y se puentea el regulador lineal. En cualquier caso se ha mantenido el diseño original ya que no conlleva ningún problema y se tiene la opción de volver atrás si fuera necesario. El diodo de entrada (D5) protege al Módulo de una polaridad inversa, mientras que los condensadores son los de desacoplos.

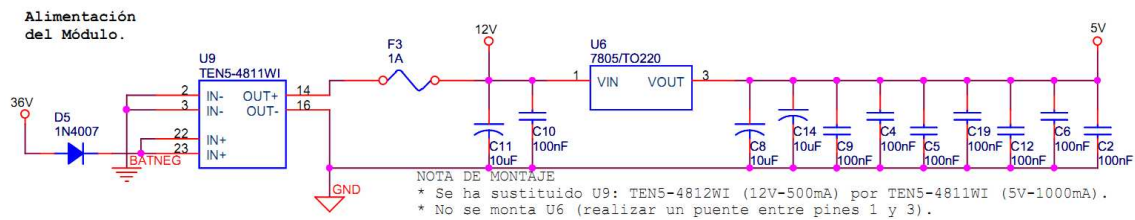


Figura 5.5: Circuito de Alimentación.

- **Microcontrolador** (Ver Figura 5.6). Es el núcleo del Módulo y es un PIC18F4550 de MicroChip (U2) con un circuito oscilador (CX1) de 40 MHz. De modo resumido el cambio a este microcontrolador conlleva:

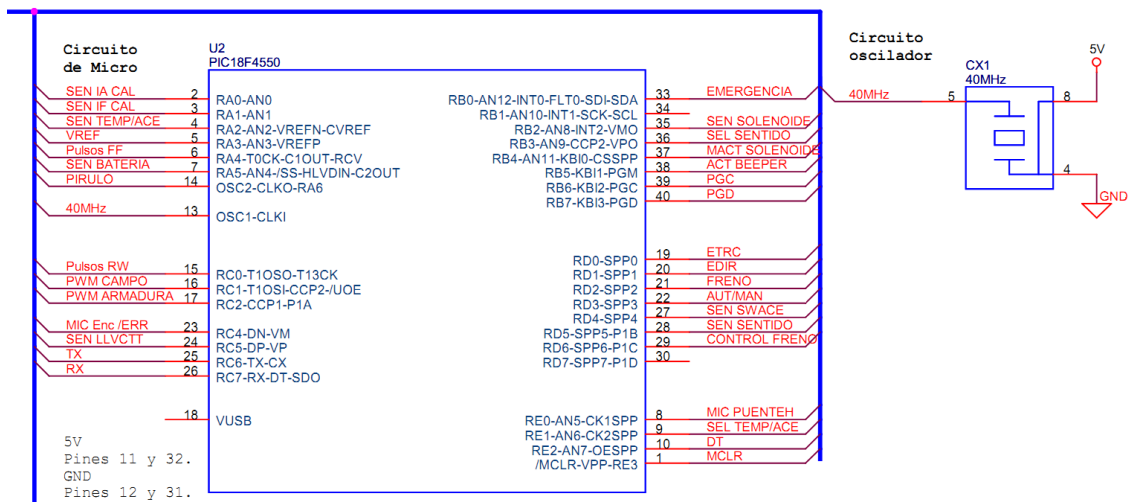


Figura 5.6: Circuito del Microcontrolador.

- Pasar de un zócalo de veintiocho a cuarenta pines.
- Multiplicar por diez la frecuencia del micro pasando de 4 a 40 MHz.
- Disponer de un puerto serie para comunicaciones.
- Disponer de un multiplicador hardware en el microcontrolador.
- Disponer de interrupción externa para la "Parada de Emergencia".

- Disponer de un puerto de Programación/Depuración vía ICD2 de MicroChip.

En la Tabla 5.1 se describen, de modo breve, las señales del microcontrolador, indicando su configuración, si son de Alimentación (A), Entrada (E), Salida (S) o Bidireccionales (B).

| Pin | Señal | Cfg | Descripción |
|-----|--------------|-----|---|
| 1 | MCLR | E | Entrada digital. Master Clear Reset. Bajo: Reset del Micro. |
| 2 | SEN IA CAL | E | Entrada analógica. Sensado de corriente del bobinado de armadura. |
| 3 | SEN IF CAL | E | Entrada analógica. Sensado de corriente del bobinado de campo. |
| 4 | SEN TEM/ACE | E | Entrada analógica. Sensado de temperatura o acelerador. |
| 5 | VREF | E | Entrada analógica. Tensión de referencia del CAD. |
| 6 | Pulsos FF | E | Entrada digital. Pulsos de marcha adelante. |
| 7 | SEN BATERIA | E | Entrada analógica. Sensado de tensión de batería. |
| 8 | MIC PUENTE H | S | Salida digital. Control de habilitación del puente en "H". Bajo: Habilita el puente en "H". |
| 9 | SEL TEM/ACE | S | Salida digital. Selección de entrada de temperatura o acelerador. Bajo: Selecciona entrada de acelerador. Alto: Selecciona entrada de temperatura. |
| 10 | DT | S | Salida digital. Habilitación del driver RS485 para transmisión. Alto: Habilita el driver para transmitir datos. |
| 11 | 5V | A | Alimentación del microcontrolador. |
| 12 | GND | A | Alimentación del microcontrolador. |
| 13 | 40MHz | E | Entrada digital. Entrada de reloj del microcontrolador. |
| 14 | PIRULO | S | Salida digital. Control de Encendido/Apagado del Aviso Luminoso. Bajo: Contacto libre del potencial "abierto". Alto: Contacto libre del potencial "cerrado". |
| 15 | Pulsos RW | E | Entrada digital. Pulsos de marcha atrás. |
| 16 | PWM CAMPO | S | Salida digital. PWM del bobinado del campo. |
| 17 | PWM ARMADURA | S | Salida digital. PWM del bobinado de la armadura. |
| 18 | - | - | No utilizada. |
| 19 | ETRC | S | Salida digital. Estado de la Unidad de Tracción. Bajo: Estado de la Unidad de Tracción "correcto". |

Tabla 5.1: Descripción de las señales del microcontrolador de la Unidad de Tracción.

| Pin | Señal | Cfg | Descripción |
|-----|----------------|-----|---|
| 20 | EDIR | E | Entrada digital. Estado de la Unidad de Dirección. Bajo: Estado de la Unidad de Dirección “correcto”. |
| 21 | FRENO | E | Entrada digital. Sensado del pedal de freno. Bajo: Pedal de freno no pisado. |
| 22 | AUT/MAN | E | Entrada digital. Sensado de modo automático o manual. Bajo: Modo Automático. Alto: Modo Manual. |
| 23 | Mic ENC/ERR | E | Entrada digital. Sensado de error en el encoder. Bajo: Error en el encoder |
| 24 | SEN LLVCTT | E | Entrada digital. Sensado de la llave de contacto. Bajo: Llave de contacto no girada. |
| 25 | TX | S | Salida digital. Dato transmitido por la línea serie RS485. |
| 26 | RX | E | Salida digital. Dato recibido por la línea serie RS485. |
| 27 | SEN SWACE | E | Entrada digital. Sensado de pedal de acelerador. Bajo: Pedal del acelerador no pisado. |
| 28 | SEN SENTIDO | E | Entrada digital. Sensado de la selección de sentido de marcha. Bajo: Selector de sentido en posición de RW. |
| 29 | CONTROL FRENO | S | Salida digital. Activación del freno. Bajo: No activar freno. |
| 30 | - | - | No utilizada. |
| 31 | GND | A | Alimentación del microcontrolador. |
| 32 | 5V | A | Alimentación del microcontrolador. |
| 33 | EMERGENCIA | E | Entrada digital. Sensado de la seta de parada de emergencia. Bajo: Seta de parada de emergencia no pulsada. |
| 34 | - | - | No utilizada. |
| 35 | SEN SELENOIDE | E | Entrada digital. Sensado del estado del selenoide. Bajo: Selenoide activado. |
| 36 | SEL SENTIDO | S | Salida digital. Selección de sentido de marcha. Bajo: Sentido de la marcha RW. |
| 37 | MACT SELENOIDE | S | Salida digital. Control del selenoide generado por el micro. Bajo: Cerrar selenoide. |
| 38 | ACT BEEPER | S | Salida digital. Control del beeper. Bajo: Apagado, no suena. |
| 39 | PGC | B | Bidireccional. Programing Clock: Entrada/Salida de reloj al microcontrolador. |

Tabla 5.1: Descripción de las señales del microcontrolador de la Unidad de Tracción.

| Pin | Señal | Cfg | Descripción |
|-----|-------|-----|---|
| 40 | PGD | B | Bidireccional. Programing Data: Entrada/Salida de datos serie al microcontrolador. |

Tabla 5.1: Descripción de las señales del microcontrolador de la Unidad de Tracción.

- **Aislamiento de las Comunicaciones** (Ver Figura 5.7). Con este driver se aíslan eléctricamente las señales de comunicación de la Unidad de Tracción del resto del Sistema, además de adaptar los niveles TTL a RS485.

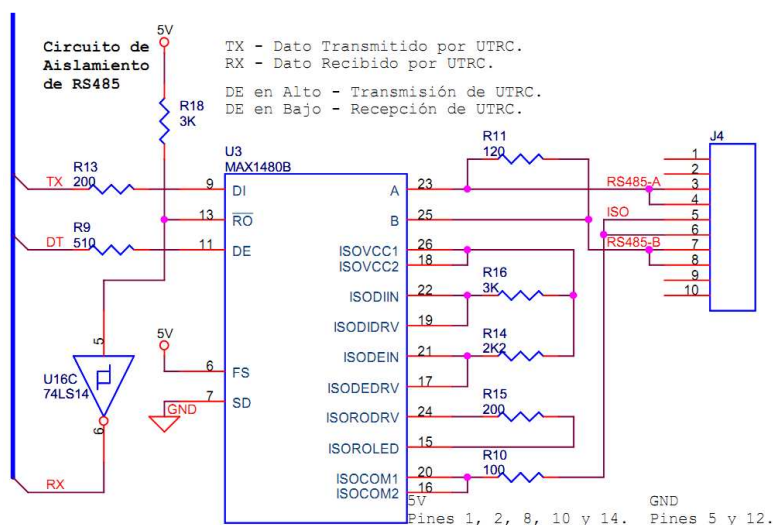


Figura 5.7: Circuito de Aislamiento de las Comunicaciones.

- **Programación y reset** (Ver Figura 5.8). Con este circuito se dota al módulo de un conector que permite realizar la programación y depuración del programa del microcontrolador aprovechando su característica de “In-Circuit Programming” (ICP). El mismo circuito incluye, aunque no se monta, el circuito de “reset inicial” formado por R1, R2, D2 y C3, ya que éste se utiliza en las versiones “One Time Programming” (OTP). En éste diseño se utiliza el circuito “Power On Reset” del microcontrolador para generar el “reset inicial”.

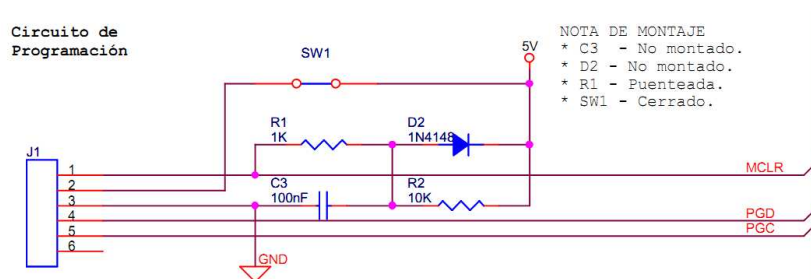


Figura 5.8: Circuito de Programación y Reset.

- **Comunicación con dirección** (Ver Figura 5.9). En muchos sistemas formados por distintas unidades, a menudo se puede encontrar una unidad que gestiona la habilitación del resto. Para ello, generalmente, trabaja con

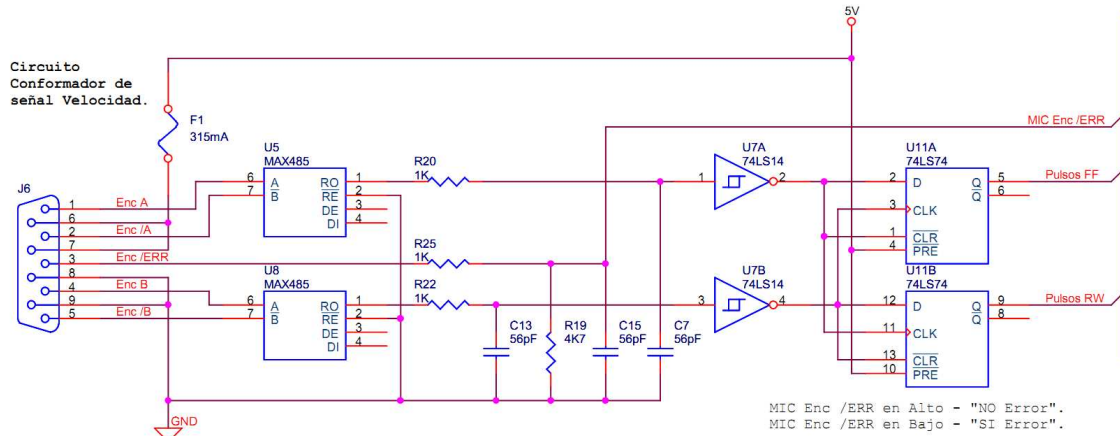


Figura 5.11: Circuito Conformador de señal de Desplazamiento.

- **Supresores de ruido** (Ver Figura 5.12). Con la idea de separar lo más posible la referencia de potencia de la de control, se optó por montar optoacopladores (U12, U13 y U14) en el sensado de señales, pues además de lograr este objetivo, estos dispositivos seleccionados, no son capaces de responder a las altas frecuencias.

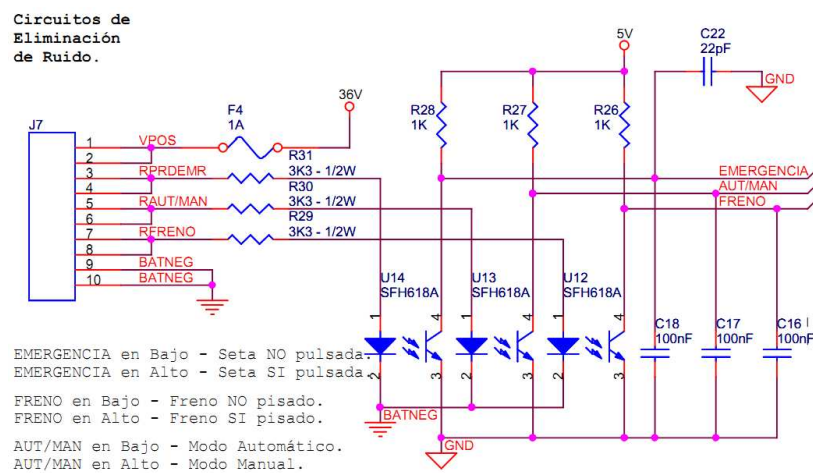


Figura 5.12: Circuito de Supresores de Ruido.

- **Control de freno** (Ver Figura 5.13). Con la idea se tratar de inmunizar contra el ruido las señales que comunican este Módulo con el de control de freno, se monta un optoacoplador que obligue a comportarse como un sumidero de corriente y se logre ese objetivo.

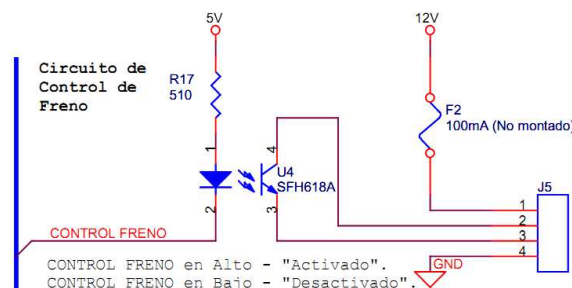


Figura 5.13: Circuito Control de Freno.

- **Aviso luminoso** (Ver Figura 5.14). Cuando el vehículo esté en movimiento en Modo Automático, este indicador estará activo para avisar a todas las personas que se encuentren en las proximidades que el vehículo está maniobrando. El control se realiza atacando un relé (RL1) a través de un transistor (Q1) con un montaje clásico, que entrega un contacto libre de potencial para controlar el indicador.

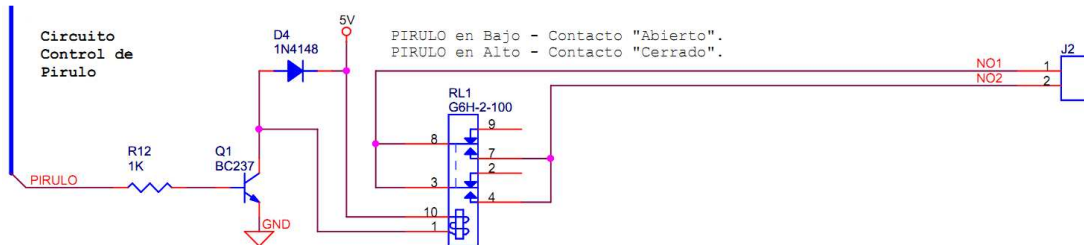


Figura 5.14: Circuito de Aviso Luminoso.

En la Figura 5.15, se encuentran identificados los circuitos que se han descrito en los párrafos anteriores para facilitar su localización en este Módulo.

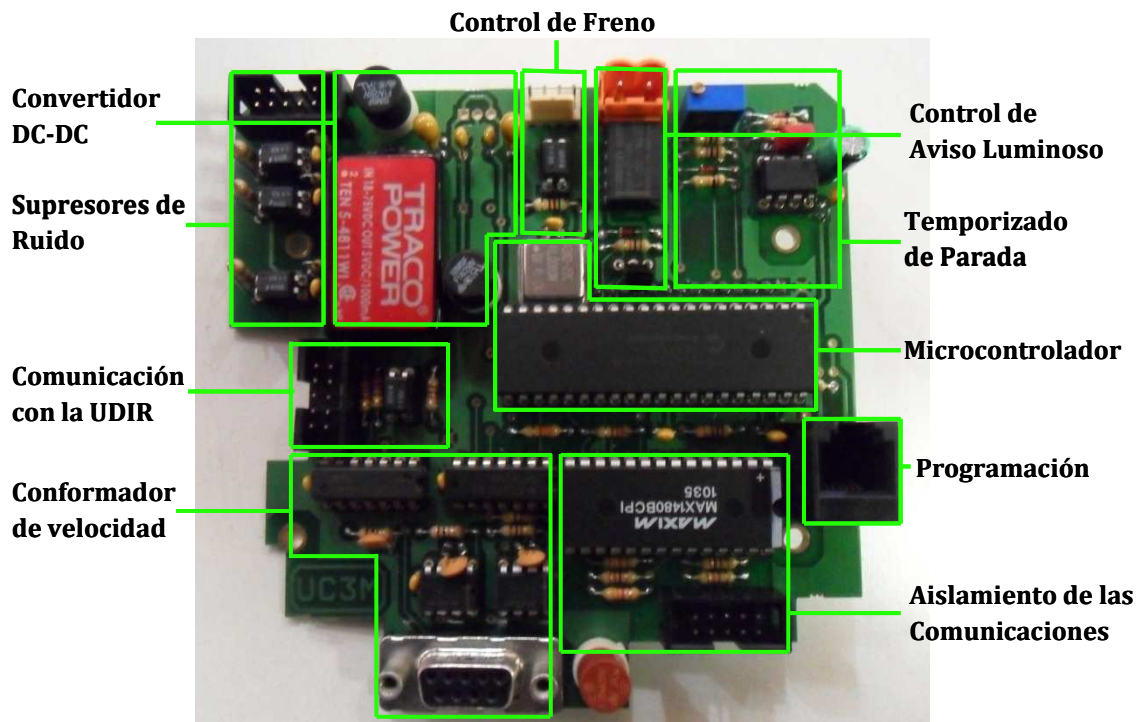


Figura 5.15: Distribución física de los circuitos de la Unidad de Tracción.

5.2 COMPONENTES.

En la Tabla 5.2 se listan los componentes del Módulo de Potencia.

| Referencia | Valor | Notas |
|---|-------------------|--|
| C1 | 100 μ F / 35V | |
| C2, C4 – C6, C9 – C10, C12, C16 – C19 | 100nF | |
| C3 | 100nF | No montado. |
| C7, C13, C15 | 56Pf | |
| C8, C11, C14 | 10 μ F / 35V | |
| C20 – C22 | 22pF | |
| D1, D3 – D4 | 1N4148 | |
| D2 | 1N4148 | No montado. |
| D5 | 1N4007 | |
| F1 | 315mA | |
| F2 | 100mA | No montado. |
| F3 – F4 | 1A | |
| Q1 | BC237 | |
| CX1 | 40MHz | |
| RL1 | G6H-2-100 | |
| R1 | 1K | No montado. |
| R2, R8 | 10K | |
| R3, R19 | 4K7 | |
| R4, R6 – R7, R12, R20 – R22, R25 – R28 | 1K | |
| R5 | 5K | Potenciómetro. |
| R9, R17 | 510 | |
| R10 | 100 | |
| R11 | 120 | |
| R13, R15 | 200 | |
| R14 | 2K2 | |
| R16, R18 | 3K | |
| R23 – R24 | 270 | |
| R29 – R31 | 3K3 – 1/2W | |
| U1 | LM358 | Amplificador operacional. |
| U2 | PIC18F4550 | Microcontrolador. |
| U3 | MAX14808 | Interfaz de comunicación RS-485/RS-422. |
| U4, U10, U12 – U14 | SFH618A | Optoacoplador. |
| U5, U8 | MAX485 | Transceptor de comunicación RS-485/RS-422. |
| U6 | 7805/TO220 | No montado. |
| U7, U16 | 74LS14 | Inversor hexagonal. |
| U9 | TEN5-4811WI | Convertidor DC/DC. |
| U11 | 74LS74 | Disparador Flip-Flop tipo D, |

Tabla 5.2: Materiales del Modulo de Control.

5.3 CONEXIONADO.

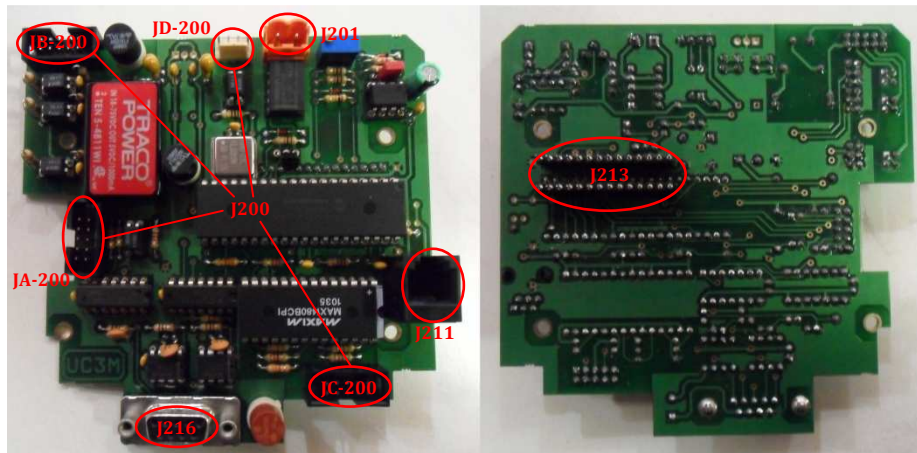


Figura 5.16: Esquema de conexionado del Módulo de Control.

- J200: Conector macho Sub-D de 25 pines:

| Pin | Señal | Conector | Pin | Señal | Conector |
|-----|-------------|----------|-----|-----------|-----------|
| 1 | VPOS | JB-200.1 | 14 | BATNEG | JB-200.9 |
| 2 | Libre | | 15 | Libre | |
| 3 | ETRCP | JA-200.3 | 16 | ETRCN | JA-200.4 |
| 4 | PFRN | JD-200.2 | 17 | RFRN | JB-200.7 |
| 5 | NFRN | JD-200.3 | 18 | Libre | |
| 6 | Libre | | 19 | RS485 A-A | JC-200.3 |
| 7 | RS485 A-ISO | JC-200.5 | 20 | RS485 A-B | JC-200.7 |
| 8 | Libre | | 21 | Libre | |
| 9 | RPRDEMR | JB-200.3 | 22 | RLLVCTT | J1.8 |
| 10 | RAUT/MAN | JB-200.5 | 23 | EDIRN | JA-200.8 |
| 11 | EDIRP | JA-200.7 | 24 | Libre | |
| 12 | Libre | | 25 | BATNEG | JB-200.10 |
| 13 | VPOS | JB-200.2 | | | |

Tabla 5.3: Señales del conector J200.

- El conector J200 está compuesto por otros 4 conectores en el circuito: JA-200 (10 pines), JB-200 (10 pines), JC-200 (10 pines) y JD-200 (4 pines). Además la señal RLLVCTT la toma del conector J1.8 del Driver Original.
- Recibe alimentación de control.
- Comunicaciones (RS-485) con la Unidad de Comunicación.
- Comunicación con la Unidad de Dirección.
- Envía y recibe las señales asociadas al control del freno.
- Recibe señales de Parada de Emergencia, Modo de funcionamiento (automático/manual) y Llave de contacto.

- J201: Conector macho de dos 2 pines:

| Pin | Señal |
|-----|-------|
| 1 | NO1 |
| 2 | NO2 |

Tabla 5.4: Señales del Conector J201.

- Entrega un contacto libre de potencial para el “Aviso Luminoso” de señalización.

- J216. Por este conector:

| Pin | Señal | Color | Pin | Señal | Color |
|-----|-----------|----------|-----|-------|-------|
| 1 | ENC A | Blanco | 6 | 5V | Libre |
| 2 | ENC A/ | Azul | 7 | 5V | Rojo |
| 3 | ENC ERROR | Amarillo | 8 | GND | Negro |
| 4 | ENC B | Marrón | 9 | GND | Libre |
| 5 | ENC B/ | Verde | | | |

Tabla 5.5: Señales del Conector J201

- Entrega alimentación al encoder montado en el eje de tracción del vehículo.
 - Recibe información del sentido, desplazamiento y error en el encoder.
- J211.
 - Se utiliza para la programación y depuración del programa del microcontrolador.
 - J213.
 - Se utiliza para conectar el desarrollo realizado con driver original del vehículo, se utilizando el zócalo donde se montaba el microcontrolador.

5.4 CABLEADO.

En las siguientes Figuras veremos el cableado de la Unidad de Tracción.

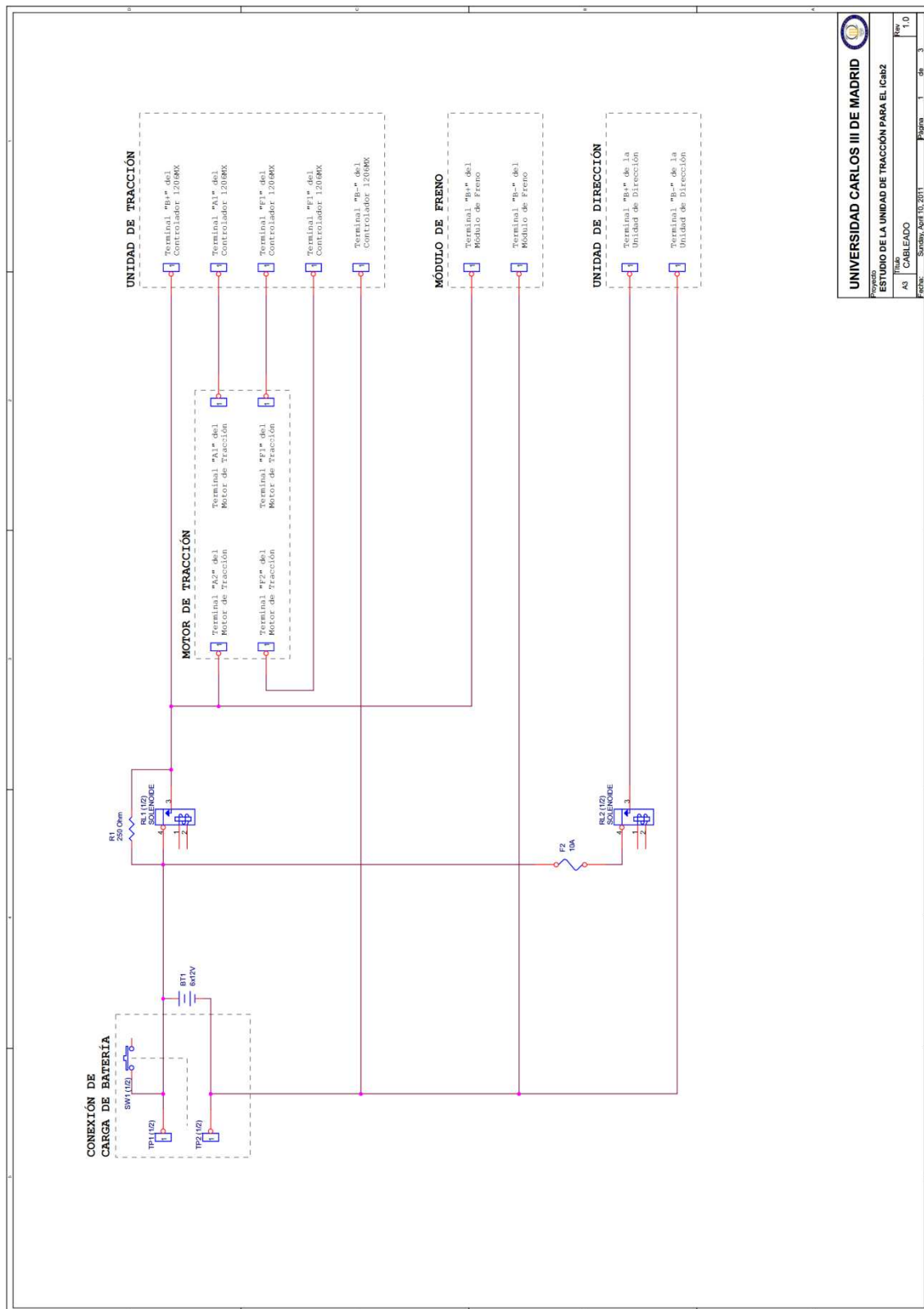


Figura 5.17: Esquema del Cableado de UTRC, cableado 1.

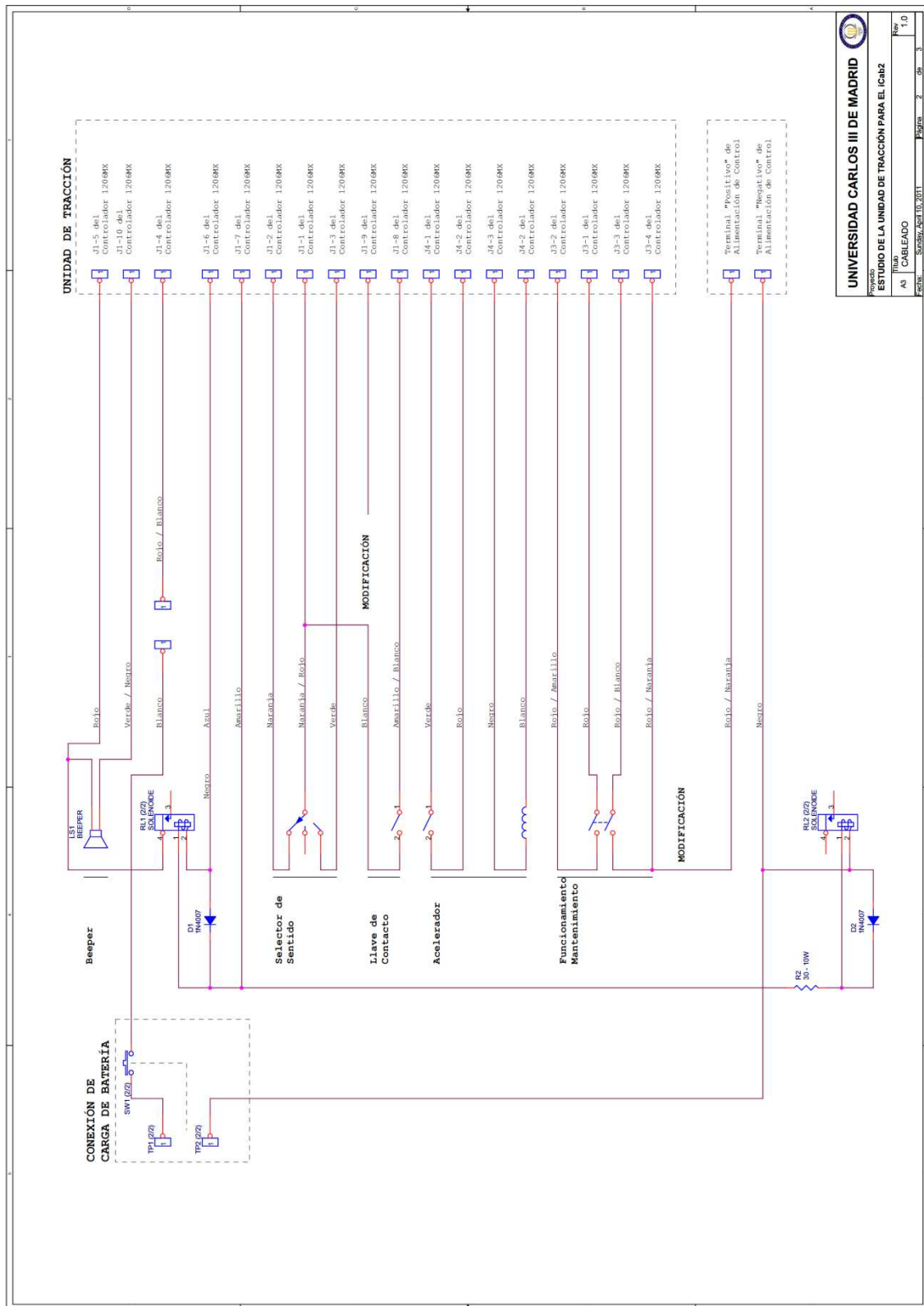
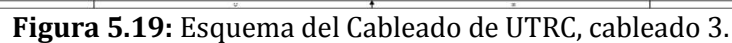


Figura 5.18: Esquema del Cableado de UTRC, cableado 2.



En la Tabla 5.6 se detalla el cableado pin a pin del conector JS200, que es un DB25 macho procedente del Modulo de Control de la Unidad de Tracción, a los distintos puntos destino, Modulo de Freno, Unidad de Comunicación, Unidad de Dirección y Parada de Emergencia. Este conector sirve de comunicación con las otras partes del vehículo (JS231 Modulo de freno, JS102 Unidad de Comunicación, JS300 Unidad de Dirección y SW1 Parada de emergencia)

| Tracción JS200 | | Freno JS231 | P.Serie JS102 | Dirección JS300 | Seta SW1 |
|----------------|------------|-------------|---------------|-----------------|----------|
| Pin | Señal | Pin | Pin | Pin | Pin |
| 1 | VPOS | 1 | | | |
| 2 | Libre | | | | |
| 3 | ETRCP | | | 11 | |
| 4 | PFRN | 2 | | | |
| 5 | NFRN | 4 | | | |
| 6 | Libre | | | | |
| 7 | RS485A-ISO | | 9 | | |
| 8 | Libre | | | | |
| 9 | RPRDEMR | | | | 2 |
| 10 | RAUT/MAN | | | 10 | |
| 11 | EDIRP | | | 3 | |
| 12 | Libre | | | | |
| 13 | VPOS | | | 1, 13 | 3 |
| 14 | BATNEG | 5 | | | |
| 15 | Libre | | | | |
| 16 | ETRCN | | | 23 | |
| 17 | RFRN | 3 | | | |
| 18 | Libre | | | | |
| 19 | RS485A-A | | 2 | | |
| 20 | RS485A-B | | 1 | | |
| 21 | Libre | | | | |
| 22 | RLLVCTT | | | 22 | |
| 23 | EDRIN | | | 16 | |
| 24 | Libre | | | | |
| 25 | BATNEG | | | 14, 25 | |

Tabla 5.6: Cableado del J200 de la UTRC en detalle.

La Tabla 5.7 detalla el cableado de la Parada de Emergencia, la cual es una Seta de Parada, que está unida físicamente al Modulo de Control de la Unidad de Tracción y a un interruptor que realiza las operaciones de Seta pulsada o Seta no pulsada y de una parada de emergencia inalámbrica.

| Seta SW1 | Botón Seta | Tracción J200 | Seta Inalámbrica |
|----------|------------|---------------|------------------|
| Pin | Pin | Pin | Cable |
| 1 | 4 | | AMARILLO |
| 2 | 2 | 9 | VERDE |
| 3 | | 13 | |
| 4 | | | |

Tabla 5.7: Cableado de la Parada de Emergencia en detalle.

En la Tabla 5.8 se detalla el cableado del interruptor ON/OFF, que permite cortar la alimentación de las distintas partes del vehículo para realizar operaciones de mantenimiento o apagado general.

En la Tabla 5.9 se detalla el cableado el interruptor AUT/MAN, que permite elegir entre los dos modos de funcionamiento disponible en el vehículo, Funcionamiento en Modo Automático y Funcionamiento en Modo Manual.

| ON/OFF | J1 | JS200 |
|--------|-----|-------|
| Pin | Pin | Pin |
| 1 | | |
| 2 | | 10 |
| 3 | | |
| 4 | 4 | 1, 13 |

Tabla 5.8: Cableado del interruptor ON/OFF en detalle.

| AUT/MAN | J1 | JS200 |
|---------|-----|-------|
| Pin | Pin | Pin |
| 1 | 2 | |
| 2 | 3 | |
| 3 | 4 | 1, 13 |
| 4 | 1 | |

Tabla 5.9: Cableado del interruptor AUT/MAN en detalle.

Ambos interruptores están unidos físicamente a los conectores J1 del Driver CURTIS1206MX (descrito en el punto anterior) y el conector JS200 del Modulo de Control de la Unidad de Tracción. La unión de los interruptores y el conector JS200 se realiza a través de un conector plano de 4 pines.

5.5 MODIFICACIONES REALIZADAS.

5.5.1 Modificaciones realizadas sobre el Driver.

El driver ha sido modificado en su conexionado como muestra en la Figura 5.20

5.5.2 Modificaciones realizadas sobre el Módulo de Control.

En un primer análisis se identificó una posible mejora en el Módulo de Control de la Unidad de Tracción consistente en implementar una nueva etapa de control dentro de la unidad, que abarcara todos los objetivos, pero se puso de manifiesto que la complejidad del diseño necesario para rehacer el driver por completo era excesiva para este proyecto, por ello las modificaciones en este Módulo se han limitado a modificar el LAYOUT del circuito impreso como se describe a continuación.

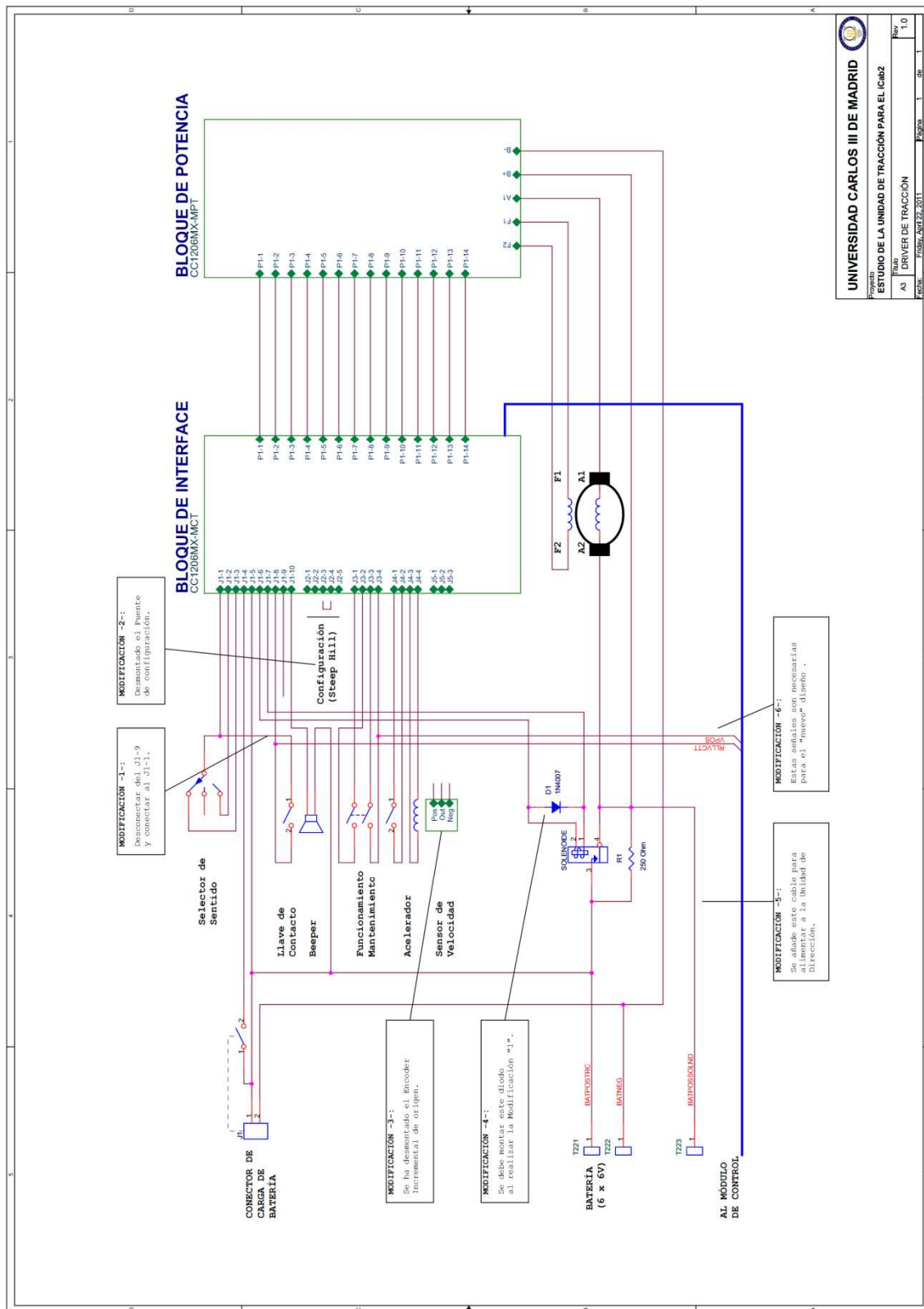


Figura 5.20: Esquema de las modificaciones realizadas en el Driver de la UTRC.

5.5.2.1 LAYOUT-TOP.

La cara TOP (Figura 5.21) podemos observar parte de los tres cambios realizados entre el iCab1 e iCab2:

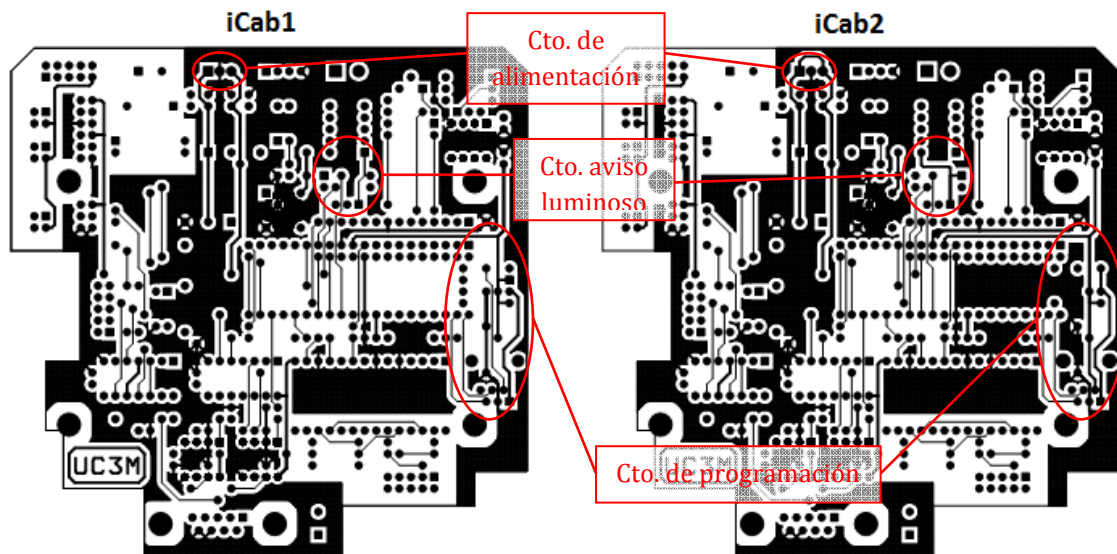


Figura 5.21: Modificaciones realizadas sobre el LAYOUT-TOP.

5.5.2.2 LAYOUT-BOTTON.

La cara BOTTON (Figura 5.22) podemos observar parte de los tres cambios realizados entre el iCab1 e iCab2:

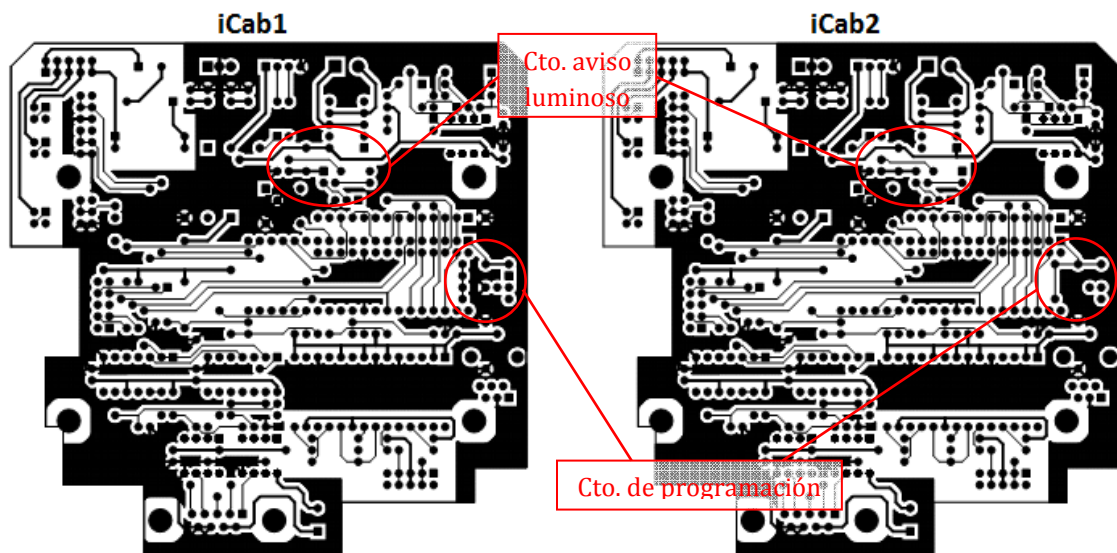


Figura 5.22: Modificaciones realizadas sobre el LAYOUT-BOTTON.

5.5.2.3 LAYOUT-COMPONENTES Y VIAS.

La cara COMPONENTES Y VIAS (Figura 5.23) podemos observar parte de los tres cambios realizados entre el iCab1 e iCab2:

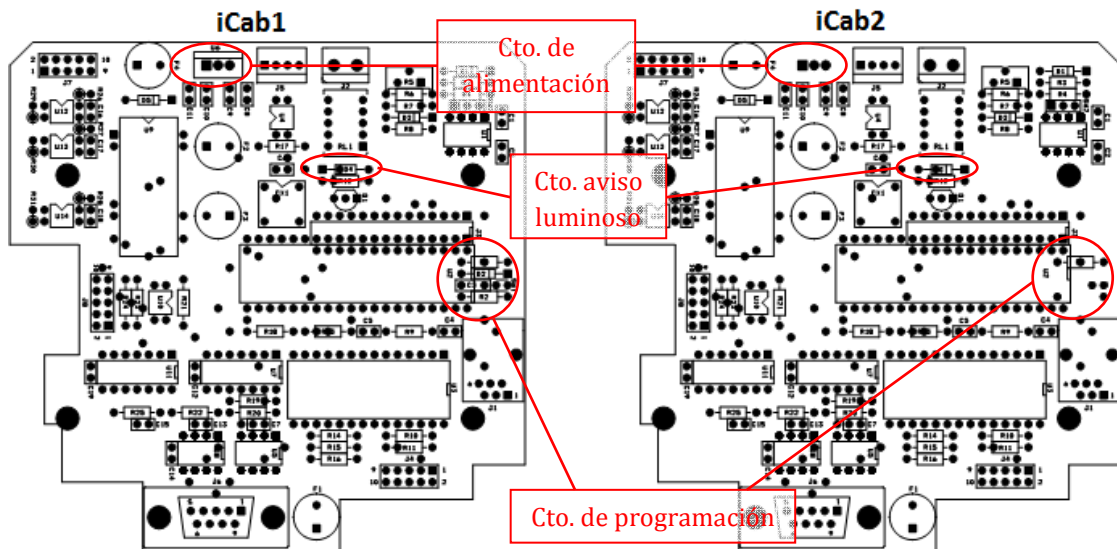


Figura 5.23: Modificaciones realizadas sobre el LAYOUT-COMPONENTES Y VIAS.

5.6 PROGRAMACION DEL MICROCONTROLADOR.

Después del montaje del circuito, se pudo comprobar que la versión del programa que se disponía no era la última versión. Al no tener la última versión, se optó por hacer un circuito programador para copiar el programa de un micro a otro como los que muestra la Figura 5.24.

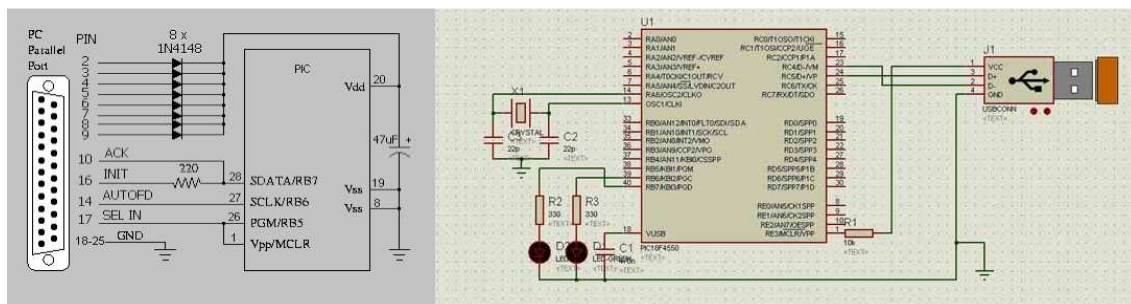


Figura 5.24: Circuitos programadores de PIC (Izquierda: Puerto paralelo, Derecha: USB)

Tras varios intentos sin éxito se decidió utilizar el programa MPLAB, con el cual se extrajo una copia en hexadecimal del programa original. Para ello solo hay que conectar el PC al microcontrolador y “Exportar” el contenido del microcontrolador al PC en un archivo de extensión .hex.

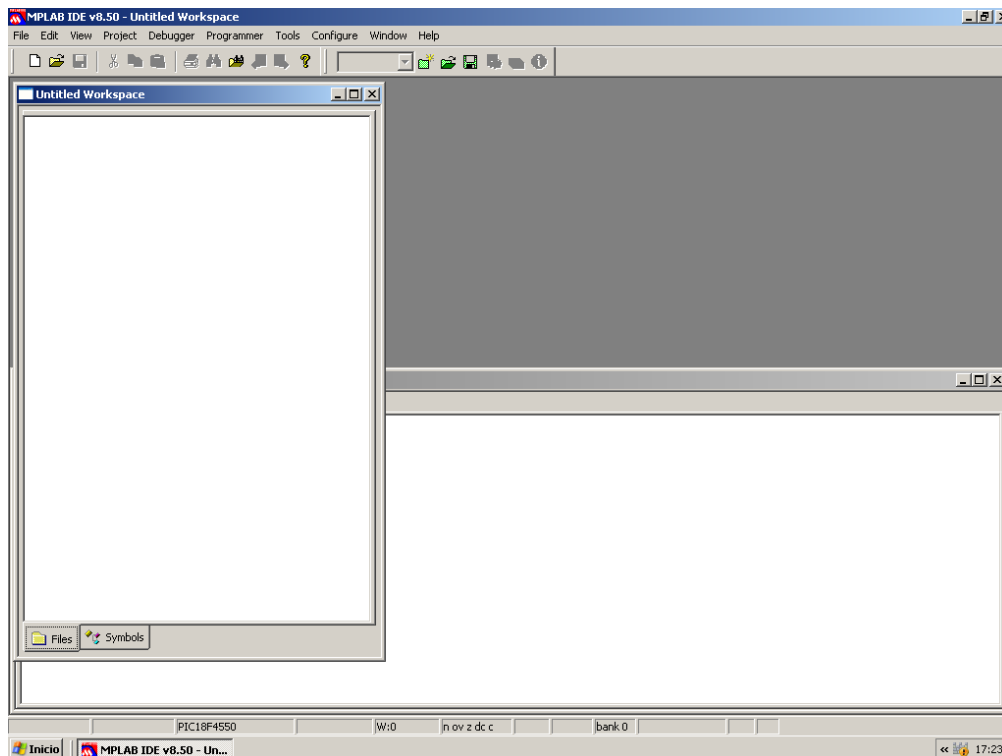


Figura 5.25: Entorno del programa MPLAB.

Una vez ya tengamos el archivo .hex solo tendremos que importarlo a un microcontrolador virgen. Para ello arrancamos el programa MPLAB e importamos el programa, “File->Import...” y cargamos el archivo TRACCION.hex, el cual contiene la copia del código que funciona.

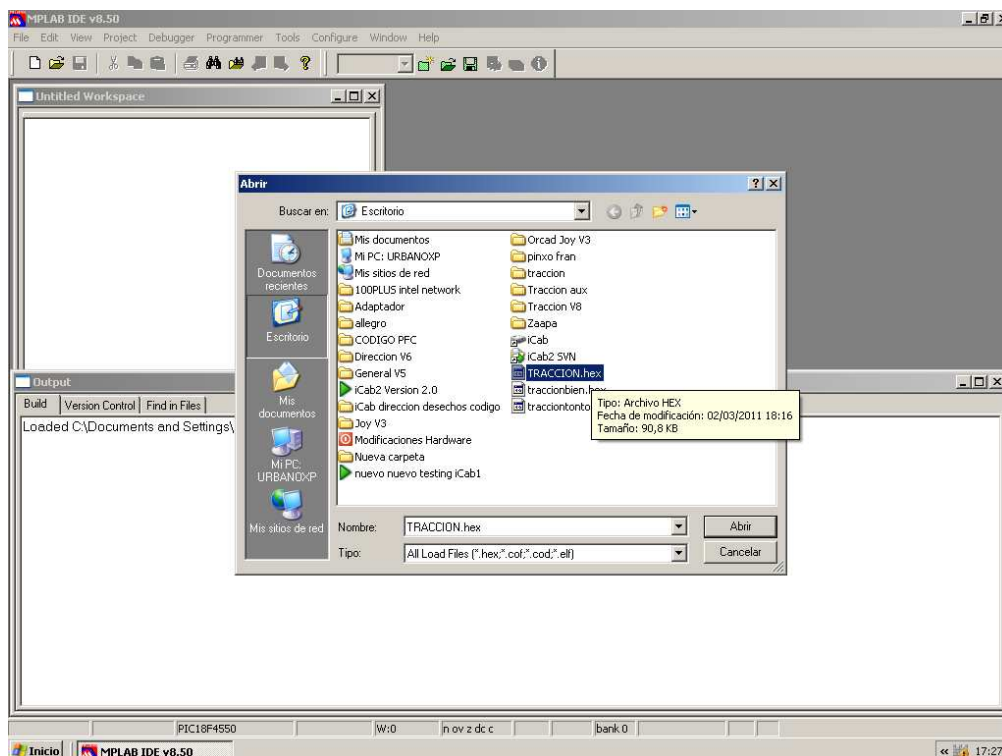


Figura 5.26: MPLAB, Import.

Posteriormente seleccionaremos el programador, lo que en nuestro caso se hace mediante ICD2, “Programmer->Select Programmer->2 MPLAB ICD 2”.

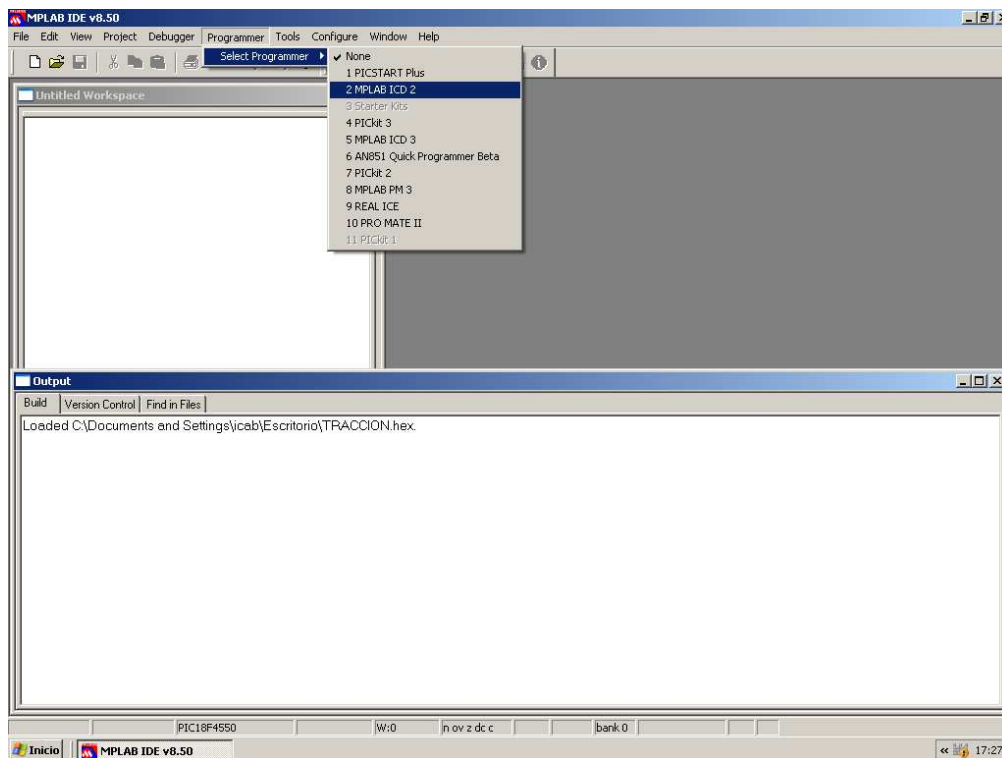


Figura 5.27: MPLAB, MPLAB ICD 2.

Se debe comprobar y verificar que el archivo .hex contiene lo mismo que un microcontrolador ya operativo, con el icono “Verify target device memory”.

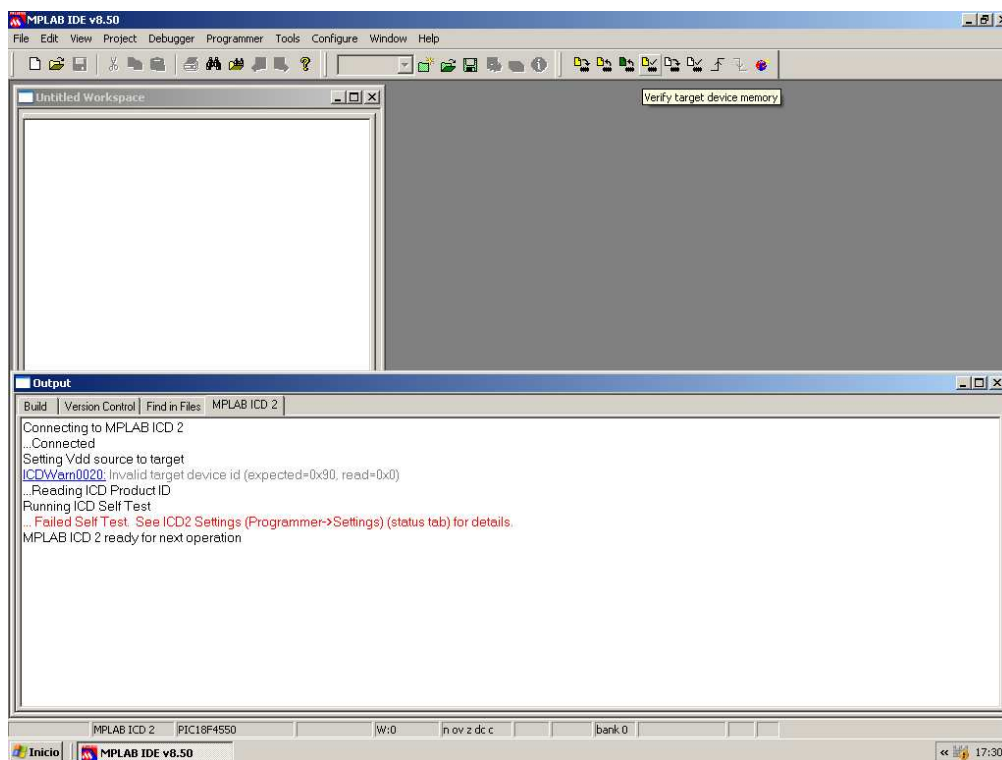


Figura 5.28: MPLAB, Verify target device memory.

Por último una vez que tengamos ya verificado, cambiaremos el microcontrolador por otro virgen, para programarlo con el icono “Program target device”.

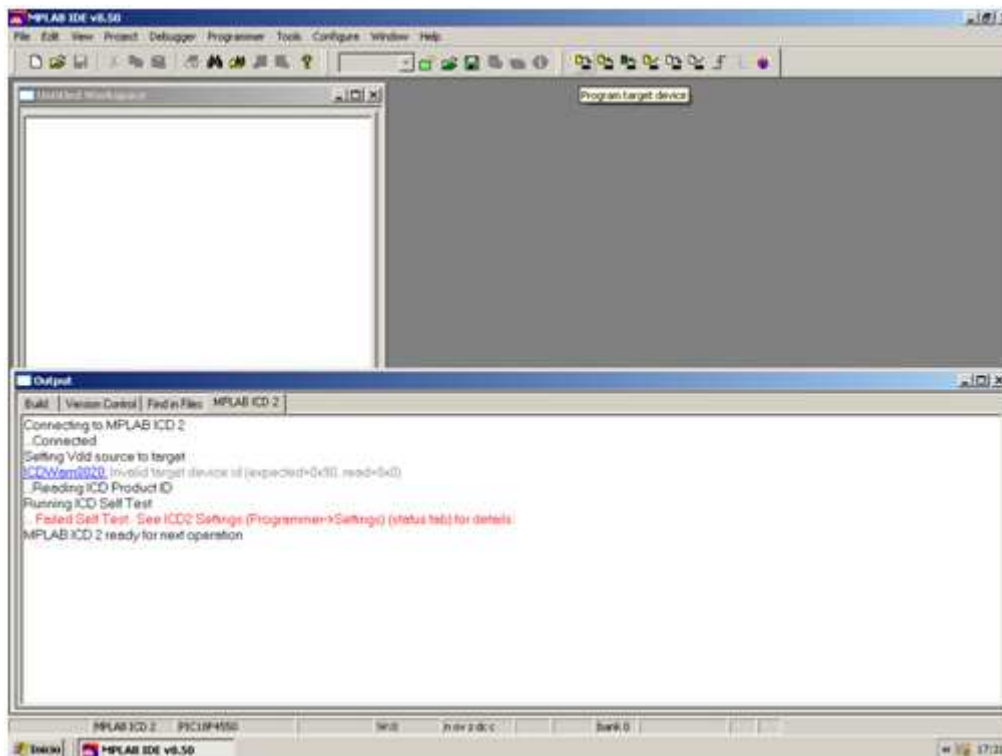


Figura 5.29: MPLAB, Program target device.

5.7 OTROS DETALLES.

Durante el desarrollo se tuvieron en cuenta una serie de detalles asociados a distintos temas como son alimentación, disipación de potencia, ruido en las tarjetas, ruido en los tendidos, etc. Seguidamente se clasifican estas consideraciones indicando donde se han tenido en cuenta y qué medidas se han tomado.

5.7.1 Alimentación.

- **Rango de entrada.** Frente a tensiones mucho más habituales como son las de veinticuatro (24) o cuarenta y ocho (48), el vehículo dispone de un conjunto de baterías que entrega treinta y seis (36) voltios. Esto obligó a seleccionar convertidores con un rango de tensión de entrada muy amplio, pues la tensión del vehículo quedaba en los límites de los convertidores de las tensiones antes mencionadas. Así los convertidores DC-DC utilizados han sido seleccionados con tensiones de entrada comprendidas entre dieciocho (18) y setenta y seis (76) voltios.
- **Convertidor DC-DC frente al regulador lineal.** Los reguladores lineales tienen un rango de tensión de entrada limitado que obligaría a realizar

bajadas escalonadas de tensión, además los convertidores frente a los reguladores lineales es una menor disipación de potencia y volumen.

- **Convertidor DC-DC frente al regulador conmutado.** La ventaja que presentan los convertidores frente a los reguladores conmutados es que se encuentran integrados en un encapsulado y no requieren de componentes externos que suelen complicar el diseño. Además se ha tratado de utilizar convertidores con encapsulado metálico que eviten problemas de ruido.
- **Protecciones contra polaridad inversa.** Como durante el desarrollo no se utiliza el tendido definitivo sino conexiones de prueba, un error en la conexión podría haber dañado el diseño. Por este motivo se montaron diodos en serie con la entrada de alimentación que protegieran los convertidores en caso de equivocar las conexiones.

5.7.2 Referencias de control y potencia.

- **Separación en las conexiones.** La fuente de energía utilizada para el control y la potencia es la misma, es decir el conjunto de baterías del vehículo, por lo que para evitar posibles problemas generados por la potencia se han separado los tendidos, realizando la conexión final en el conjunto de baterías.
- **Planos en las placas de circuito impreso.** En las placas de los circuitos impresos se han generado planos conectados a la referencia para apantallar y de este modo evitar posibles problemas de ruido.
- **Optoacopladores.** Al utilizar estos dispositivos en las entradas de sensado, se logra mantener separadas mucho mejor las referencias de control y potencia. Además los utilizados en el desarrollo, tienen una frecuencia de corte muy baja pudiendo asimilar su comportamiento a un filtro paso bajo.

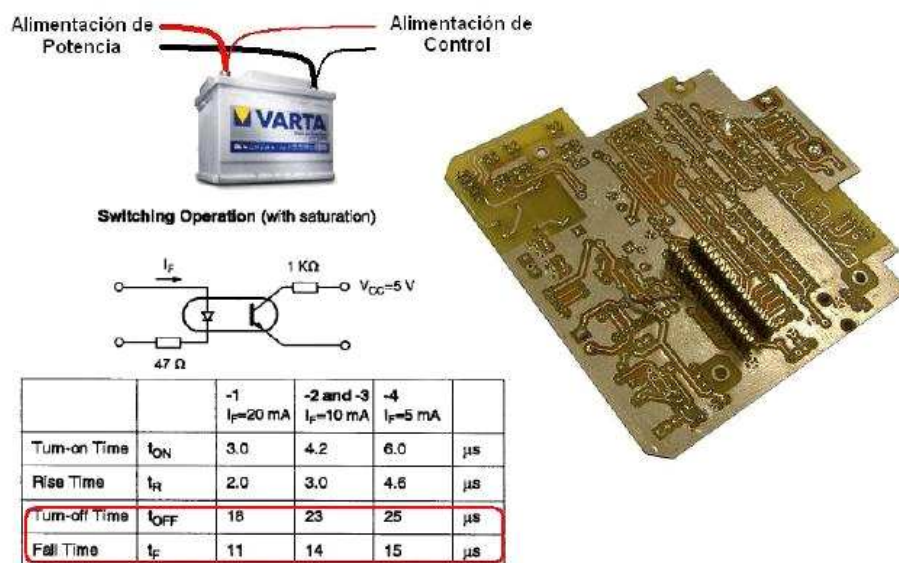


Figura 5.30: Detalles del diseño realizados con las referencias de control y potencia.

5.7.3 Comunicaciones.

- **Aislamiento eléctrico de las comunicaciones.** Durante el desarrollo se ha trabajado con ordenadores conectados a la red eléctrica de 220VAC, esto podría traer problemas de referencia. Por este motivo se optó por utilizar un aislamiento eléctrico en las comunicaciones de los distintos circuitos conectados.
- **Líneas de comunicación RS-485.** Este tipo de línea se conoce como diferencial o balanceada y es mucho más inmune al ruido que las que no lo son. Como el control de los motores generará una gran cantidad de ruido se optó por utilizar este tipo de línea frente a una no balanceada, como por ejemplo una RS-232. Además entre las ventajas que presenta, aunque no se ha utilizado en este diseño, es la posibilidad de utilizarse en modo party-line.

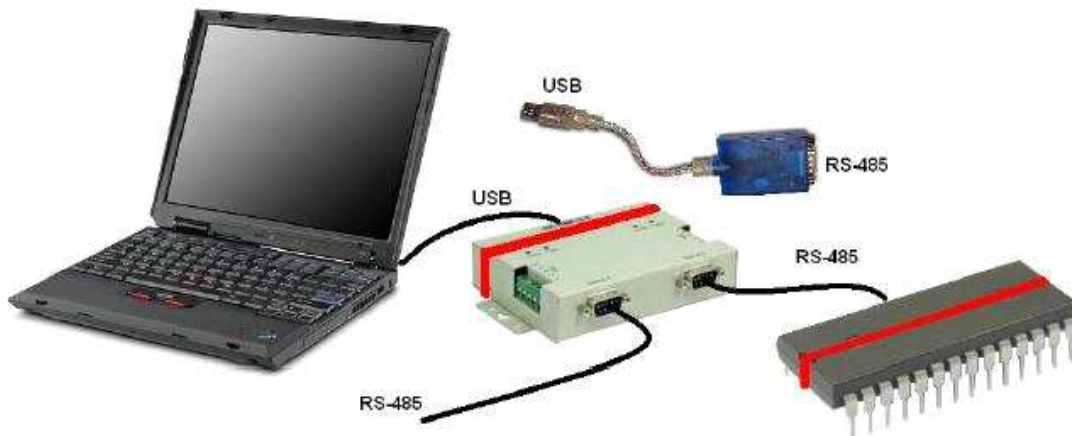


Figura 5.31: Detalles del diseño relacionados con las comunicaciones.

5.7.4 Señales de sensado y control.

- **Líneas del encoder de tracción en modo diferencial.** El encoder de tracción es incremental y ofrece sus señales A y B en modo diferencial, se ha elegido así porque este tipo de dispositivo suele preferirse para medir velocidades de giro en motores frente a utilizar variación de frecuencia en motores de corriente alterna o PWM en motores de corriente continua ya que en ambos casos se genera mucho ruido y el encoder es mucho más seguro al tratarse de una señal balanceada.
- **Optoacopladores en las señales asociadas al freno.** Este diseño obliga a utilizar una corriente algo mayor para la excitación del optoacoplador logrando aumentar la inmunidad al ruido. La otra opción, algo “más compleja”, podría haber sido una transmisión en modo balanceado (RS-485).

5.7.5 Estado de las señales

- **Parada de emergencia.** El estado de reposo de la Parada de Emergencia es un contacto cerrado, ya que en caso de seccionarse el cable se identificaría, igualmente, como una Parada de Emergencia. En caso de conectar un control remoto a esta señal, deberá conectarse en serie y estar siempre transmitiendo una señal que cierre un contacto, de modo que si se perdiera la comunicación también provoque una Parada de Emergencia.
- **Señal de error de encoder de tracción.** El encoder de tracción genera una señal que entrega un nivel bajo en caso de detectar algún problema en el mismo. En caso de que el tendido del encoder se seccione se considerará que se ha producido un error en el mismo.
- **Señales de activación de Freno.** Cuando el micro establece un alto no existe corriente por el optotransistor y se activa el freno, por el contrario con un bajo si existe corriente y se desactiva el freno, con esto si el cable se abre es que se ha roto la comunicación y el vehículo frenaría.

5.7.6 Seguridades.

- **Fusibles en las alimentaciones externas.** La alimentación de los dispositivos utilizados se realiza a través de fusibles de modo que en caso de provocar un cortocircuito en el tendido queden protegidos los circuitos de alimentación de la Unidad.
- **Sobretensión en la alimentación del driver del puente en “H”.** En el Módulo de Potencia de la UDIR, se han incluido en R9 y D3 para proteger los circuitos de alimentación en caso de rotura del driver. De este modo que el diodo protege de una polarización inversa y la resistencia se comportaría como un fusible.
- **Compensado capacitivo en el Puente en “H”.** Al realizarse el control de una carga inductiva por PWM, aparecerán picos de sobretensión. Una de las formas de contrarrestar estos efectos es incluir en el diseño una capacidad que compense el efecto inductivo del conjunto de motor y cables en la alimentación del Puente en “H” y muy próximo al mismo. Otro de los métodos, es montar un circuito de “snubber” (amortiguador), que frente a la “simplicidad” que puede tener cuando la carga no cambia de polaridad, si se cambia la polaridad de la carga este se complica “ligeramente”.

5.7.7 Otros.

- **Desacoplos y condensadores de baja capacidad.** En general, durante el diseño, se ha tratado de que todos los integrados dispongan de un desacoplo. Además algunas señales como la Parada de Emergencia, se le ha conectado un condensador (C22) de muy baja capacidad (22pF) ya que se trata de una entrada de interrupción al microcontrolador.



- **Control del Aviso Luminoso.** Como no se definió el tipo de aviso luminoso que debería utilizarse, se ha optado por dotar al vehículo con un contacto libre potencial que ofrece mucha más flexibilidad en la elección que finalmente se realice del mismo.

Capítulo 6: Experimentación.

Aunque resulta muy difícil separar la funcionalidad del diseño desde el punto de vista hardware y software, las pruebas realizadas han sido enfocadas desde ambos, para validar cada una de ellas. En cualquier caso para validar el diseño hardware realizado, en algunas ocasiones, ha sido necesario cargar un software de pruebas en los microcontroladores que forman el diseño, así como en los ordenadores que comunican con el mismo.

- **Hardware.** El diseño hardware que se ha realizado no tiene un funcionamiento autónomo, sino que en todo momento es el software cargado en el microcontrolador quien lo gestiona, por tanto las pruebas realizadas, de modo independiente sobre éste, han estado dirigidas a comprobar si al actuar sobre las entradas de que dispone el desarrollo, se convertían en la señal esperada a la entrada del microcontrolador y viceversa.
- **Software.** Una vez validadas las pruebas hardware era el momento de comprobar el funcionamiento de programación que se carga en cada microcontrolador.

Por lo anteriormente expuesto, sólo se ha comprobado el funcionamiento independiente de los circuitos que componen el Módulo de Control de esta Unidad. Así, de modo muy resumido, se realizaron las siguientes pruebas:

- **Alimentación.** Se retiró el fusible principal (F3) y tras alimentar esta Unidad se comprobó que el convertidor entregaba la alimentación esperada de cinco (5) voltios. A continuación se montó de nuevo el fusible (F3) y se comprobó que todos circuitos de la Unidad quedaban alimentados.
- **Microcontrolador.** Se comprobó con el osciloscopio que recibía señal de reloj de cuarenta (40) Megahercios para su funcionamiento.
- **Programación.** Tras conectar el microcontrolador en el Módulo, se comprobó que podía ser programado y correr un programa en modo depuración.
- Se elimina C3 y D2 para poder programar el micro.
- Se eliminó el circuito de **Reset**.
- **Aislamiento de las Comunicaciones.** Con un microcontrolador programado, se comprobó que se comunicaba con un ordenador conectado al USB de la UCOM.
- **Comunicación con dirección.** Como se trata de una señal de entrada y otra de salida, se montó sobre un conector SubD de veinticinco (25) pines, un

sencillo circuito que permitía comprobar ambas señales, actuando sobre un interruptor y visualizar su estado con un LED (Ver Figura 6.1).



Figura 6.1: Comprobador de dirección.

Es esquema eléctrico se puede ver en la siguiente Figura 6.3.

- **Temporizado de parada.** Sobre este circuito se comprobó si la señal de “ACT SOLENOIDE”, seguía a la “Seta de Parada de Emergencia” de modo instantáneo o temporizado. Pudiendo comprobarse que el segundo caso, dependiendo de ajuste del potenciómetro R5, se podía lograr una temporización de varios segundos.
- **Control de freno.** Al igual que en el circuito de “Comunicación con la dirección”, se trata de una señal de salida y una de entrada, esta última incluida en el circuito de “Supresores de ruido”, e igualmente se montó sobre un conector SubD de nueve (9) pines, un sencillo circuito que permitía comprobar ambas señales, actuando sobre un interruptor y visualizando el estado con un LED (Ver Figura 6.2).



Figura 6.2: Comprobador del freno.

Es esquema eléctrico se puede ver en la siguiente Figura 6.4.

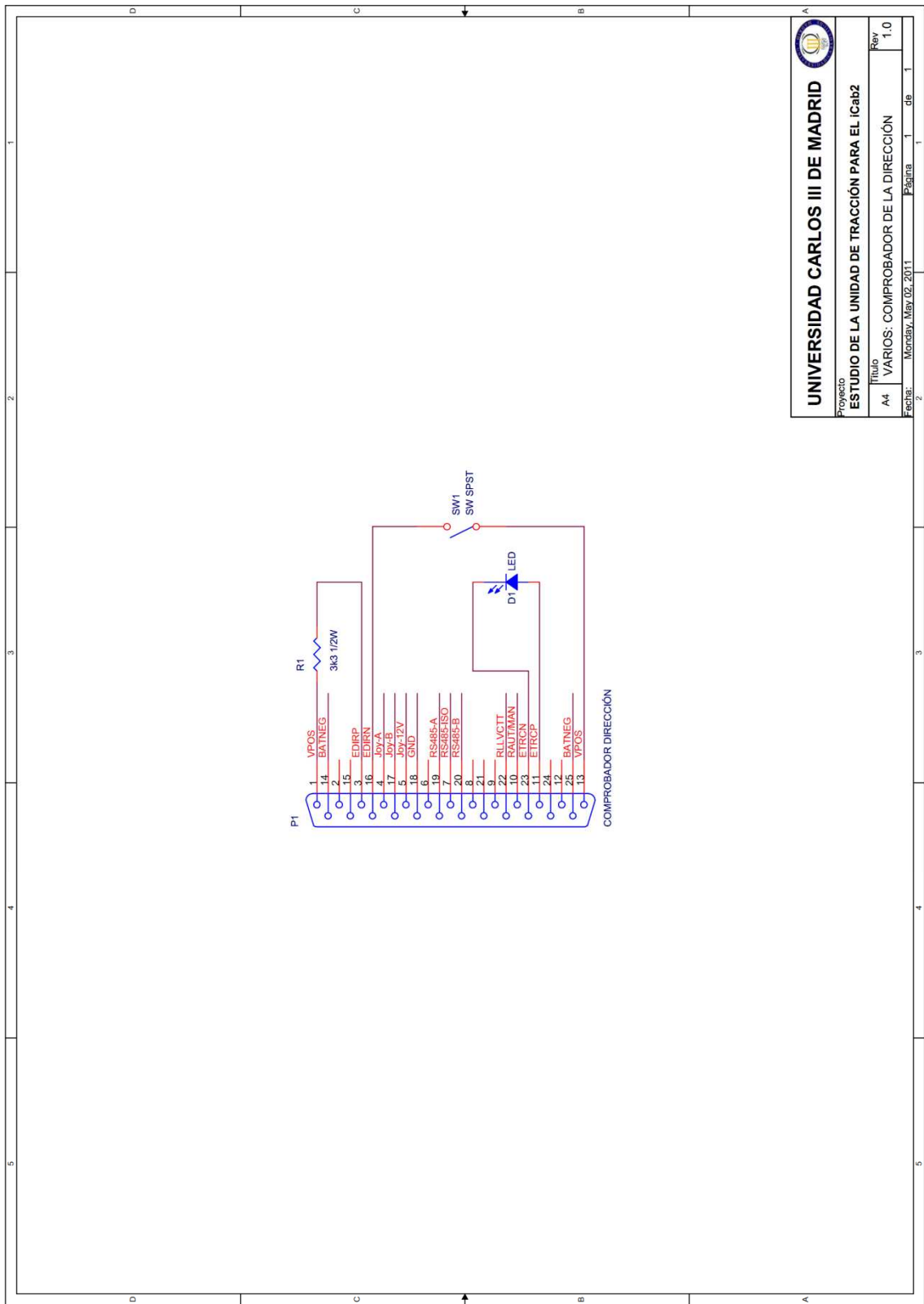
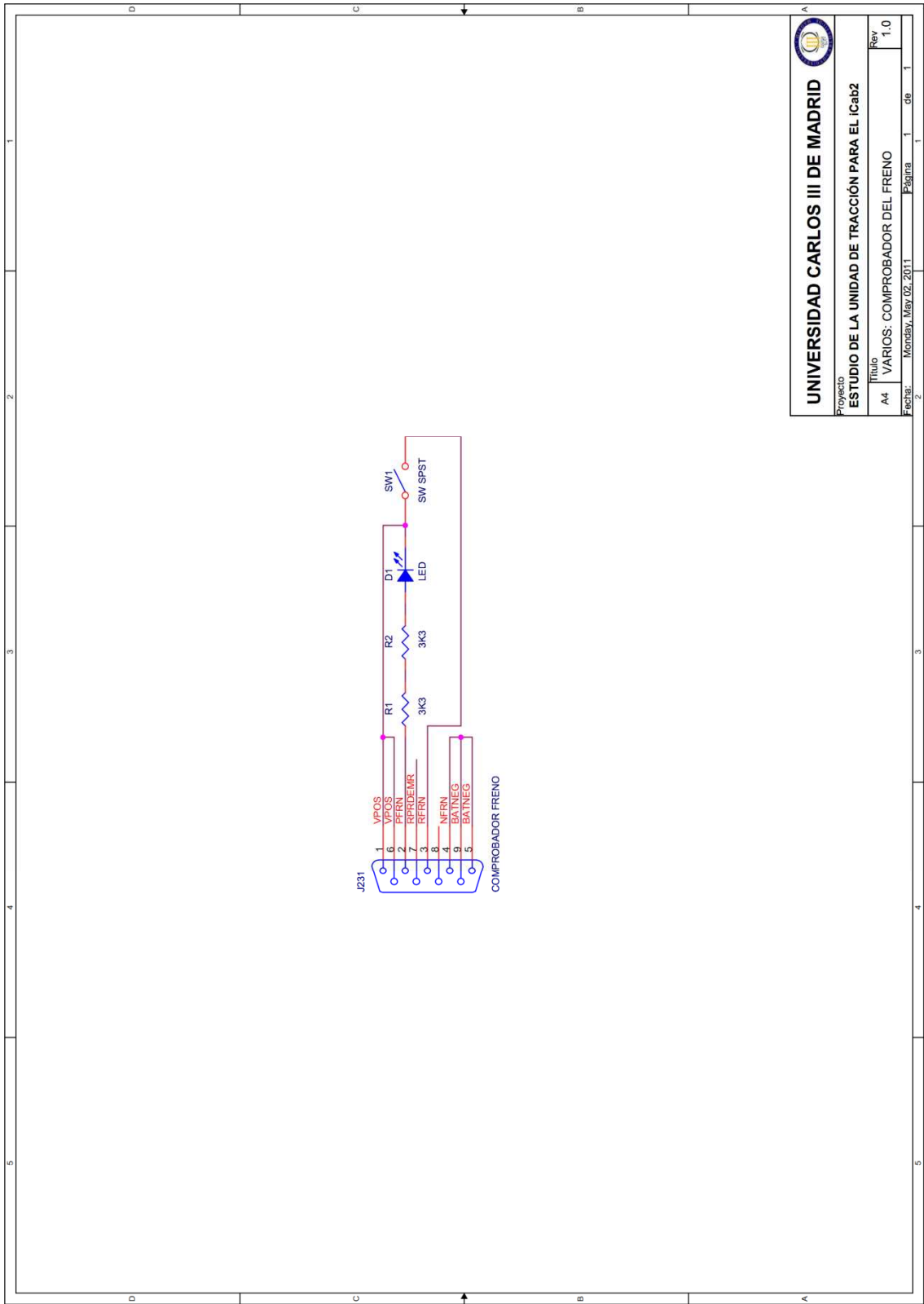


Figura 6.3: Esquema eléctrico del comprobador de la dirección.



| | |
|----------------------------------|--|
| UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID | |
| Proyecto | ESTUDIO DE LA UNIDAD DE TRACCIÓN PARA EL iCab2 |
| Título | VARIOS: COMPROBADOR DEL FRENO |
| Rev | 1.0 |
| Fecha | Monday, May 02, 2011 |
| Página | 1 de 1 |

Figura 6.4: Esquema eléctrico del comprobador de la dirección.

- **Conformador de señales de sentido.** Se conectó el encoder y se realizaron dos (2) comprobaciones:
- Identificación del sentido de giro. Dependiendo del sentido de giro del encoder, se generaban pulsos en las señales de “Pulsos FF” y “Pulsos RW”.
- Detección de error. Cuando el encoder estaba conectado, el estado de la señal “MIC Enc /ERR” era alto, pasando a bajo cuando este se desconectaba.
- **Supresores de ruido.** Las señales “AUT/MAN”, “EMERGENCIA” y “FRENO”, se encontraban en bajo cuando a su entrada asociada se le aplicaba la tensión de batería y se establecía un nivel alto cuando se no se le aplicaba tensión.
- **Aviso luminoso.** Se conectó una lámpara a la batería del vehículo, controlada por los contactos del relé RL1, con un microcontrolador programado, se comprobó que la lámpara quedaba controlada por el programa del microcontrolador.
Se elimina D4 y el pirulo (únicamente se usa señal acústica).

En cuanto a la **Respuesta en aceleración**, para comprobar el comportamiento de la tracción se ha sometido al vehículo a varias aceleraciones y velocidades de consigna, obteniendo resultados que se consideran satisfactorios.

En lo que concierne al **frenado**, durante el mismo los transistores del circuito de armadura del motor se encuentran cortados y es la fuerza contraelectromotriz del motor la que impone el sentido de la corriente. La corriente circula de negativo a positivo de la batería, cargándola, y siendo los diodos parásitos de los transistores los que cierran el circuito. El desajuste de las curvas se debe a que la batería no ejerce la suficiente carga sobre el motor como para vencer la inercia del vehículo y seguir la consigna, acusándose más en velocidades cercanas a cero, donde la fuerza electromotriz del motor es menor. El vehículo se detiene por medio de sus fricciones mecánicas. Por todo esto se considera que el frenado regenerativo es insuficiente para detener el vehículo.

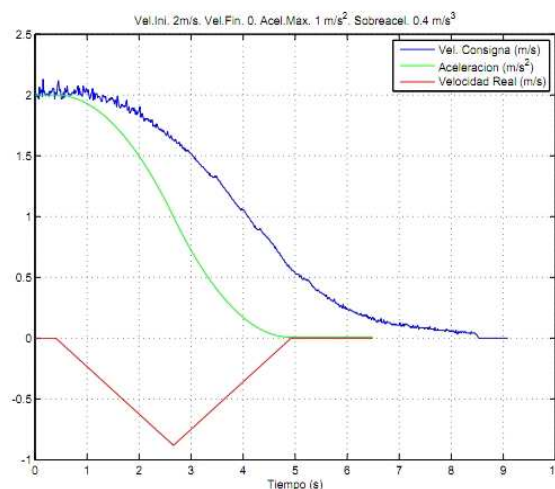


Figura 6.5: Respuesta en frenado de la UTRC.

Por último se ha procedido al **cableado** del frontal del coche para hacer más cómodo e independiente el uso del interruptor ON/OFF, AUT/MAN y la “seta de parada de emergencia”. (Ver Figura 6.6)



Figura 6.6: Ubicación de los Controles operativos e instrumentación.

Capítulo 7: Conclusión y trabajos futuros.

7.1 CONCLUSIÓN.

Este proyecto tenía como objetivo el rediseño de la unidad de tracción para la plataforma iCab2.

Para ello se plantearon y se consiguieron los siguientes objetivos:

- Introducción de mejoras al diseño de la unidad de tracción, que añaden funcionalidades y evitan errores de diseño de la versión anterior.
- Fabricación de varias placas del módulo de control, con la idea de integrarlas en la versión del iCab1 y como repuestos para el futuro.
- Fabricación de un cableado que hiciera más accesible y sencillo su funcionamiento
- Un diseño funcional y de fácil montaje.
- Protecciones, robustez y seguridad. Diseño dotado de fusibles para protegerlo de cortocircuito y hacerlo más seguro.
- Funcionamiento “estable”, que permite que el proyecto prosiga en un futuro
- Diseño que permite reproducir el montaje de un modo “sencillo” en otros vehículos idénticos al original.
- Un diseño “estructurado” que permite identificar “fácilmente” las Unidades que lo componen.
- Un diseño que ofrece una alta vida de los componentes.
- Un diseño realizado con componentes de “fácil” adquisición.
- Una conectividad entre las Unidades muy “sencilla”. Los tendidos se han simplificado y la conectividad se ha reducido al menor número de conectores posibles.

Además de ello, se ha hecho uso de diferentes programas, algunos conocidos y otros no, lo cual nos ha facilitado el desarrollo y ampliación de conocimientos:

- **Orcad Capture**, para el desarrollo de los diseños esquemáticos, de las conexiones, así como de la creación de informes y la lista de materiales.
- **Orcad Layout**, para el desarrollo de las placas de circuito impreso, así como la comprensión de las principales reglas que se deben tener en cuenta para su diseño.
- **MPlab** y de la herramienta de programación y depuración ICD2.

7.2 TRABAJOS FUTUROS.

Este trabajo es la continuación de la automatización de la plataforma. Sin embargo, aún quedan cosas por hacer y mejorar. En un futuro habría que realizar algunos cambios y mejoras para continuar con el desarrollo de la plataforma. Algunos de estos cambios pueden ser:

- **Desarrollo del Módulo de Freno.** La Unidad de Tracción implementa dos (2) señales para el control de freno, pero no se ha desarrollado como tal este módulo. Fabricación e integración de la mecánica y el hardware del Freno Automático.
- **Mejora de accesibilidad a la Unidades de Tracción.** Una instalación que facilite un sencillo acceso a la unidad de tracción y a los módulos que la forman (mediante un cajón exterior por ejemplo, para evitar tener que levantar el asiento de la plataforma)
- **Búsqueda de un depurador robusto para los microcontroladores.** Durante este trabajo se ha utilizado el ICD2 de Microchip. Este depurador es muy susceptible a las perturbaciones que produce el motor de la tracción, funcionando de forma incorrecta cuando el motor está excitado.
- **Estudio del problema encontrado con el frenado regenerativo.** Se podría incluir un frenado disipativo, en el que mediante una resistencia correctamente dimensionada, se ayude a disipar la energía generada por el motor. Otra posible opción sería utilizar el freno mecánico. En vez de enclavarlo por medio de un control todo-nada cuando el vehículo esté parado, se podría modular información por esta línea y utilizarlo como freno de servicio. Este trabajo sería de gran interés, ya que es importante para el algoritmo de navegación del Ordenador de Control que el tiempo y la distancia de frenado sean deterministas.

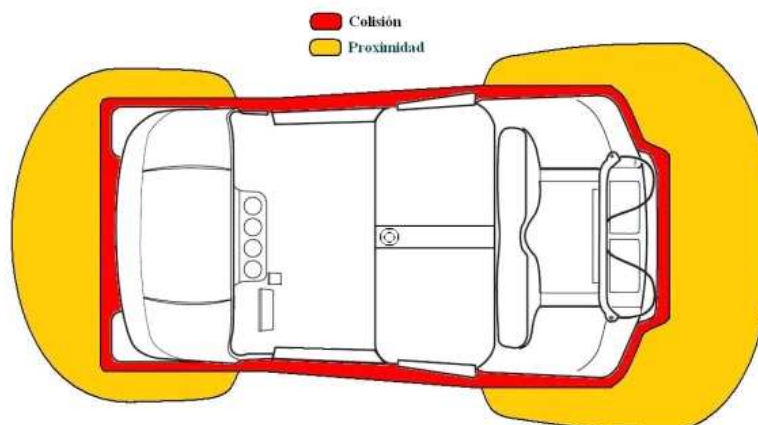


Figura 7.1: Detección de Colisión y Proximidad.



- **Desarrollo de un Módulo Detector de Colisión.** En principio la detección de obstáculos será gestionada desde un nivel superior, pero podría ser interesante que el vehículo pudiera disponer de este (Ver Figura 7.1).
- **Desarrollo de un Módulo Detector de Proximidad.** Es evidente que es preferible detectar la proximidad de un objeto antes que colisionar con él, por tanto ambos módulos se complementan (Ver Figura 7.1).

Capítulo 8: Presupuesto.

8.1 GASTOS DE PERSONAL.

El coste de personal es un cálculo aproximado asociado a la mano de obra y recursos humanos necesarios para la implementación y diseño del proyecto. El coste horario es el coste total, es decir, incluye tanto el sueldo como los costes asociados: I.R.P.F., Seguridad Social, etc.

| Tarea | Función | Coste/ Horas | Núm. Horas | COSTE TOTAL |
|--|----------------|-----------------|---------------|----------------------|
| Estudio previo y diseño | Ingeniero | 26 (€/h) | 200 (h) | 5,200.00 (€) |
| Diseño circuito, integración, programación y montaje | Ingeniero | 26 (€/h) | 340 (h) | 8,840.00 (€) |
| Elaboración documento técnico | Administrativo | 16 (€/h) | 60 (h) | 960.00 (€) |
| COSTE TOTAL DE PERSONAL = | | | | 15,000.00 (€) |

Tabla 8.1: Gastos de personal.

8.2 GASTOS DE MATERIALES.

Se puede observar el presupuesto reducido a continuación.

| Concepto | Precio | IVA | Cantidad | COSTE TOTAL |
|----------------------------------|--------------|------|----------|---------------------|
| Vehículo | 2,300.00 (€) | 0 % | 1 | 2,300.00 (€) |
| Encoder | 755.00 (€) | 16 % | 1 | 875.80 (€) |
| Cristal de 40MHz | 2.44 (€) | 0 % | 3 | 7.32 (€) |
| Condensadores | 0.20 (€) | 0 % | 50 | 10.00 (€) |
| Diodos | 0.60 (€) | 0 % | 15 | 9.00 (€) |
| Fusibles | 0.22 (€) | 0 % | 30 | 6.60 (€) |
| Conectores | 2.20 (€) | 0 % | 15 | 33.00 (€) |
| Transistores | 1.71 (€) | 0 % | 12 | 20.52 (€) |
| Resistencias | 0.25 (€) | 0 % | 105 | 26.25 (€) |
| Fabricación de la tarjeta | 40.00 (€) | 0 % | 2 | 80.00 (€) |
| Microcontroladores | 3.85 (€) | 0 % | 5 | 19.25 (€) |
| Otros componentes electrónicos | 6.08 (€) | 0 % | 40 | 243.20 (€) |
| COSTE TOTAL DE PERSONAL = | | | | 3,630.94 (€) |

Tabla 8.2: Gastos de materiales.

8.3 COSTE TOTAL DEL PROYECTO.

El coste total del proyecto será la suma los costes calculados en los puntos anteriores.

| Tipo de Gasto | Cantidad |
|----------------------------|----------------------|
| Total de Gasto en Personal | 15,000.00 (€) |
| Total Coste Material | 3,630.94 (€) |
| COSTE TOTAL = | 18,630.94 (€) |

Tabla 8.3: Gastos totales.

Bibliografía.

ALLDATASHEET. Página web. <http://www.alldatasheet.com>

AENOR. Página web. www.aenor.es.

BOE. Página web. www.boe.es

C.Urban. Página web. <http://urbanchallenge.org>

CyberCars. Página web. www.cybercars.org

CyberRobotics. Página web. www.cyberbotics.com

DARPA. Página web. www.darpa.mil

GPS. Página web. <http://www.elgps.com/>.

Heinzmann. Página web. www.heinzmann.com

RUF. Página web. www.ruf.dk/cnn.doc.

TartanRacing. Página web. www.tartanracing.org.

Taxi2000. Página web. www.taxi2000.com/.

Thyssenkrupp. Página web. www.thyssenkrupp-transrapid.de.

SICK. Página web. <http://www.sick.com/>.

UFC. Página web. www.knight.eecs.ucf.edu.

Ultra. Página web. www.atsltd.co.uk/.

Valencia, U. Página web. www.uv.es/emaset/iep00/.

VARTA. Página web. www.varta-automotive.es.

VictorTango. Página web. www.me.vt.edu/urbanchallenge.

MIT. Página web. www.granchallenge.mit.edu

Microchip. Pagina web. <http://www.microchip.com>

RAE. Página web. <http://www.rae.es>

VISLAB. Página web. <http://vislab.it>

Laboratorio de Sistemas Inteligentes de la UC3M. Página web.

http://www.uc3m.es/portal/page/portal/dpto_ing_sistemas_automatica/investigacion/lab_sist_inteligentes

Libro: Complete PCB design using Orcad Capture and Layout

Libro: Diseño de circuitos impresos con Orcad Capture y Layout

Manual: Ezgo. Service Parts Manual. Tehcnicians repair and service manual

Manual: PIC18F2455/2550/4455/4550

Suministrador de componentes electrónicos. Página web. <http://es.rs-online.com/web>

Suministrador de componentes electrónicos. Página web. <http://es.farnell.com>

Tesis de Máster: “iCab. Automatización de un vehículo eléctrico. Mecánica y software.”

Autor: Hidalgo Fiestas, Juan Manuel.

Tesis de Máster: “iCab. Automatización de un vehículo eléctrico. Diseño Hardware.”

Autor: Ginés Portalatin, Pedro.

Proyecto Fin de Carrera: “Rediseño de la unidad de dirección para el iCab2.”

Autor: Jesús Martínez Roca

Proyecto Fin de Carrera: “Rediseño de la unidad de tracción para el iCab2.”

Autor: José Asís González

